การพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็ว ของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี

ว่าที่ ร.ต.ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TRAINING MODEL TO ENHANCE ACCELERATION ABILITY IN SPRINTERS AGED 14-16 YEARS

Acting SubLt. Chanawat Sanpasitt

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Sports Science
Common Course
FACULTY OF SPORTS SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี
โดย	ว่าที่ ร.ต.ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เจริญ กระบวนรัตน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์ : การพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี. (THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TRAINING MODELTO ENHANCE ACCELERATION ABILITY IN SPRINTERS AGED 14-16 YEARS) อ. ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.ทศพร ยิ้มลมัย

การวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 การศึกษาคือ การศึกษาที่ 1 ทำการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน โดยให้นักวิ่งระยะสั้น เพศชาย จำนวน 12 คน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 3 คน ทำการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับ โดยแต่ละกลุ่มได้รับการทดสอบการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน คือ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา ใช้ระยะทางในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด 10 เมตร ทำสลับกันในมุมที่แตกต่างกันไปทุก ๆ สัปดาห์จนครบทุกกลุ่ม นักกีฬาทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจำนวน 5 เที่ยวแต่ละเที่ยวพัก 5 นาที และนำข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษาจำนวน 9 มัด มาทำหาค่าตัวแปรคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของ EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ผลการทดลองพบว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดด้วยมุม 9 องศา มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากที่สุด โดยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมของพื้นลาดเอียงมากขึ้น โดยเฉพาะกล้ามเนื้อ Vastus lateralis แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อมัดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อระหว่างพื้นราบและมุม 9 องศา ยกเว้นกล้ามเนื้อ Soleus ที่ไม่พบความแตกต่างในทุกมุมองศา

การศึกษาที่ 2 ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะสั้นชายของโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน โดยการสุ่มอย่างง่าย ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ และกลุ่มควบคุม ซึ่งกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการทดสอบความเร็วจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า Hmax และ Mmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 เป็นเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ของความเร็วในทุกระยะ รวมทั้งมีค่า Mmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus มากกว่าก่อนการทดลอง ขณะที่กลุ่มควบคุม ไม่พบความแตกต่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองในทุกตัวแปร นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 ยังมีการพัฒนาที่ดีกว่าของความเร็วจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร และแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ควรให้ความสำคัญกับกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก ที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเร่งความเร็ว และการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง สามารถพัฒนาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพลังระเบิดและการผลิตแรง ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการเร่งความเร็วในนั่งวิ่งระยะสั้นระดับเยาวชน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5778603439 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORD: Acceleration ability, Complex training, Speed bounding on slope surface, SPRINT BOUNDING, SLOPE SURFACE
Chanawat Sanpasitt : THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TRAINING MODELTO ENHANCE ACCELERATION ABILITY IN SPRINTERS AGED 14-16 YEARS. Advisor: Asst. Prof. CHANINCHAI INTIRAPORN, Ph.D. Co-advisor: TOSSAPORN YIMLAMAI, Ph.D.

The purpose of this research was to develop the complex training model to enhance acceleration ability in sprinters aged 14-16 years. This research divided into two experiments. The first study aimed to investigate and compare electromyographic (EMG) activities of muscles during speed bounding on four difference slopes surface (9º, 6º, 3º and 0º) among youth male sprinters. Twelve male sprinters, aged between 14-16 years old (age = 15.75 ± 0.45 years, height = 1.72 ± 0.06 m, body mass = 59.25 ± 4.90 kg) performed speed bounding on either 9º, 6º, 3º or 0º slope platform, using a counterbalanced design. The participants completed 10-m speed bounding from a standing start for five trials with 5 minutes rest period. Muscle activities from nine muscles including gluteus maximus (GM), rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), gastrocnemius medialis (GD), soleus (SL), tibialis anterior (TA), biceps femoris (BF), semitendinosus (SM), and pectoralis major (PM) were continuously recorded using a wireless surface EMG throughout the experiment. The EMG signal was analyzed in term of the maximum intensity, the time to peak, and the rate of EMG development. The results showed that EMG activity of most muscles were highest during propulsive phase of speed bounding at 9 ° compared to others degrees, except for BF and SM which significantly decreased in EMG activities when the slope was increased. However, the time to peak EMG of all muscles examined showed no significant difference during propulsive phase of speed bounding across all slopes, but not at 9 °. Interestingly, the GD, VL, and GM were among the three greatest rate of EMG development compared to other slopes and muscles examined ($p<0.05$).

The objective of the second study was to compare the efficacy of combined complex training with speed bounding on sloped surface on acceleration ability. The subjects were 30 male sprinters from Bangkok sports school. They were separated into three groups (CIG-incline speed bounding group, CHG- horizontal speed bounding group, and CON – control group). Both experimental groups trained two days per week for a period of six weeks. The sprint velocity of 10m, 20m, 30m, 40m, and 50m, peak power, peak vertical ground reaction force, peak barbell velocity, isokinetic peak torque of knee extension and flexion, H-reflex of gastrocnemius and soleus were collected before and after six weeks of training. Results showed that both interventions improved all power production, muscle strength and NVC parameters ($p<0.05$) except H-reflex whereas, there were no significant in all of the variables of CON from pre to post. Moreover, CIG improved greater 10m velocity and peak vertical ground reaction force compared with CHG ($p<0.05$). Furthermore, only CIG has a significant improvement of velocity in every distances and Mmax of GD and SL were also significant greater after 6-week of training ($p<0.05$).

In conclusion, our data indicate that the extensor of ankle, knee, and hip may play a significant role for acceleration ability in sprinting performance. Moreover, we recommended CIG could be incorporated in a regular training regimen to induce greater muscle activation, force and explosive power which is crucial for acceleration ability in youth male sprinters.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Sports Science	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ประสาทวิชา ถ่ายทอดความรู้และข้อคิดต่าง ๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด ศาสตราจารย์ ดร.เจริญ กระบวนรัตน์ อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร และ อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ข้อแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ในการศึกษาครั้งนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถาวร กมุทศรี รองศาสตราจารย์ ดร. อภิลักษณ์ เทียนทอง อาจารย์ เอกวิทย์ แสวงผล พลตำรวจตรี ศุภวณัฏฐ์ อาริยะมงคล และโค้ชเหรียญชัย สีหะวงษ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและกรุณาเสียสละเวลาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจเครื่องมือที่ใช้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์และจัดเตรียมเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการวิจัย อีกทั้งให้ข้อแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เสมอมา การวิจัยในครั้งนี้ได้รับความกรุณาจากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร (ดินแดง) อาจารย์โถม ยองใย และ อาจารย์สายยันต์ สมพงษ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่และกลุ่มตัวอย่างเป็นอย่างดี ตลอดจนนักกรีฑาโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร ที่ให้ความร่วมมือตลอดระยะเวลาในการฝึกซ้อม

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความปรารถนาดี ความรักและกำลังใจจากนางกนกวรรณ สรรพสิทธิ์ ผู้เป็นมารดา นายพิสิฐ รัชศักดิ์ ผู้เป็นบิดา อาจารย์ ดร.วลัยวรรณ มธุรสปรีชากุล ภรรยา และเด็กชายพีรวัฒน์ สรรพสิทธิ์ ลูกชายของผู้วิจัย คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน มาจนถึงทุกวันนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช รุ่นที่ 35 (2/2560) ที่สนับสนุนงบประมาณให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฑ

สารบัญแผนภูมิ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

คำถามการวิจัย 6

สมมุติฐานของการวิจัย 7

ขอบเขตของการวิจัย 7

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา 7

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย 9

คำจำกัดความของการวิจัย 9

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 12

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

1. การวิ่งระยะสั้น 13

2. องค์ประกอบที่สำคัญของการพัฒนาความเร็ว 15

3. ทฤษฎีและหลักในการฝึกความเร็ว 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ทฤษฎีและหลักการฝึกพลัยโอเมตริก 24
5. ทฤษฎีและหลักในการฝึกด้วยแรงต้านทานในนักกีฬาระดับเยาวชน 33
6. แนวคิด ทฤษฎี และหลักในการฝึกเชิงซ้อน 36
7. กลุ่มของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว 40
8. องค์ประกอบและความสำคัญของพลังกล้ามเนื้อ 42
9. ลักษณะทางกายภาพและบทบาทของการฝึกแรงต้านบนพื้นลาดเอียง 45
10. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 52
11.ระบบประสาทกล้ามเนื้อ 56
งานวิจัยภายในประเทศ 61
งานวิจัยต่างประเทศ 64
กรอบแนวคิดในการวิจัย 69
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 63
รูปแบบการวิจัยในการศึกษาที่ 1 63
ประชากร 63
กลุ่มตัวอย่าง 63
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย 63
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย 64
ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล 64
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 72
การวิเคราะห์ข้อมูล 72
แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำวิจัย 73
การศึกษาที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มตัวอย่าง 74
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย 75
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย 75
ขั้นตอนการวิจัย 75
การเก็บรวบรวมข้อมูล 80
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 80
การวิเคราะห์ข้อมูล 81
แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำวิจัย 83
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 86
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย 154
สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 1 154
อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 1 155
สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2 159
อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2 163
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 172
ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป 173
บรรณานุกรม 174
ภาคผนวก 187
ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง และโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ 188
ภาคผนวก ข แบบบันทึกข้อมูลการศึกษาที่ 1 189
ภาคผนวก ค แบบบันทึกข้อมูลการศึกษาที่ 2 190
ภาคผนวก ง การทดสอบความเร็ว (Velocity test) 192

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ การทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power test) 193
ภาคผนวก ฉ การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยระบบไอโซคิเนติก (Isokinetic strength test)..... 194
ภาคผนวก ช การทดสอบความสามารถในการนำสัญญาณประสาท (Nerve conduction capacity test)..... 195
ภาคผนวก ซ การทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography)..... 196
ภาคผนวก ฌ การทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ภายใน 1 ครั้ง (1 อาร์เอ็ม) 199
ภาคผนวก ญ โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้าน กับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง..... 201
ภาคผนวก ฎ โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้าน กับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ 203
ภาคผนวก ฏ ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย..... 205
ประวัติผู้เขียน..... 206

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมการฝึกวิ่งขึ้นเนิน 46

ตารางที่ 2 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการฝึกแรงต้านบนพื้นลาดเอียง 51

ตารางที่ 3 ตำแหน่งของการติดอิเล็กโทรด (Position of surface electrodes placements) 66

ตารางที่ 4 แสดงท่าที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด..... 69

ตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องของโปรแกรมการฝึกที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ. 77

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 1 87

ตารางที่ 7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา 88

ตารางที่ 8 แสดงระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด (Time to peak) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา 92

ตารางที่ 9 แสดงอัตราพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา 96

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 2 คือนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย โรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน..... 102

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง..... 103

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 107

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) 111

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) 112

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 113

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2 114

ตารางที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม 115

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 123

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 123

ตารางที่ 20 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) 126

ตารางที่ 21 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) 126

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 22 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)..... 127

ตารางที่ 23 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 128

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2 129

ตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม 130

ตารางที่ 26 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของพลังสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 132

ตารางที่ 27 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม..... 132

ตารางที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 133

ตารางที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2 134

ตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม..... 135

ตารางที่ 31 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)..... 141

ตารางที่ 32 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของ ตูกี (Tukey) 143

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 33 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 145

ตารางที่ 34 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2 146

ตารางที่ 35 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม 147

ตารางที่ 36 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 149

ตารางที่ 37 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2 150

ตารางที่ 38 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม..... 151

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงอัตราส่วนของแรงปฏิกิริยาจากพื้นต่อน้ำหนักตัวในมุมองศาที่แตกต่างกัน 47

ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการหมุนบริเวณข้อเท้า เข่า และสะโพก รวมถึงแนวแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่สัมพันธ์กันกับแขนของแรง เปรียบเทียบระหว่างการวิ่งแนวราบ (A) และการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน (B) 48

ภาพที่ 3 แสดงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานในช่วงวงจรของการก้าว (โดยวัดจากการก้าวเท้าขวาถึงเท้าขวาสัมผัสพื้นอีกครั้งหนึ่ง) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Tibialis anterior (TA), Gastrocnemius (GA), Soleus (SOL), Rectus femoris (RF), Vastus lateralis (VL), Medial Hamstrings (MH), Biceps femoris (BF), และ Gluteus maximus (GM) 49

ภาพที่ 4 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด 55

ภาพที่ 5 แสดงระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด 55

ภาพที่ 6 การตอบสนองทางไฟฟ้าและกลศาสตร์ของใยกล้ามเนื้อลายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่อการกระตุ้นด้วยความแรงสูงสุด การตอบสนองทางไฟฟ้า (ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง; มิลลิโวลท์; mV) และการตอบสนองทางกลศาสตร์ (แรงตึง; T) นั้นถูกเขียนไว้ในแกนเวลาเดียวกัน 58

ภาพที่ 7 แสดง Hoffmann reflex (H-reflex) and muscle response (M-wave) pathways .. 60

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดสัญญาณไฟฟ้าระหว่าง H-reflex กับ M- response 60

ภาพที่ 9 แสดงมุมมองด้านข้างของทางวิ่งพื้นลาดเอียง ประกอบด้วยมุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา 84

ภาพที่ 10 แสดงแบบขยายโครงเหล็กรับแนวพื้นเอียง 85

ภาพที่ 11 แสดงการทดสอบความสามารถในการเร่งความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร 192

ภาพที่ 12 แสดงการเตรียมเริ่มต้นออกวิ่งด้วยท่า 3 point start 192

ภาพที่ 13 แสดงการทดสอบความสามารถในการเร่งความเร็ว 192

ภาพที่ 14 แสดงการทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ 193

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 15 แสดงเครื่องไอโซคิเนติก และการทดสอบความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่า 194

ภาพที่ 16 แสดงการวัดค่า Mmax และ H-reflex ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และ Soleus 195

ภาพที่ 17 แสดงอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนัง (Surface measuring electrode) 197

ภาพที่ 18 แสดงตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบไร้สาย (Wireless) 197

ภาพที่ 19 แสดงตัวอย่างตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษา 197

ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนังของกลุ่มกล้ามเนื้อต่างๆ 198

ภาพที่ 21 แสดงการทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ภายใน 1 ครั้ง 199

ภาพที่ 22 แสดงการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศ ของกลุ่มทดลองที่ 1 เป็นขั้นตอนที่หนึ่งของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้ระดับความหนักในการฝึก 85 % ของ 1 RM 202

ภาพที่ 23 แสดงการฝึกในขั้นตอนที่ 2 ของการฝึกเชิงซ้อนของกลุ่มทดลองที่ 1 โดยใช้รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยท่าวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง 202

ภาพที่ 24 แสดงการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศ ของกลุ่มทดลองที่ 2 เป็นขั้นตอนที่หนึ่งของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้ระดับความหนักในการฝึก 85 % ของ 1 RM 204

ภาพที่ 25 แสดงการฝึกในขั้นตอนที่ 2 ของการฝึกเชิงซ้อนของกลุ่มทดลองที่ 2 โดยใช้รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยท่าวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ 204

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา (GM:Gluteus maximus, RF:Rectus femoris, VL:Vastus lateralis, GD:Gastrocnemius medialis, SL:Soleus, TA:Tibialis anterior, BF:Biceps femoris, SM:Semitendinosus, และ PM:Pectoralis major)..... 99

แผนภูมิที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา 100

แผนภูมิที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา..... 101

แผนภูมิที่ 4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลองของ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 116

แผนภูมิที่ 5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม..... 117

แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม..... 118

แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 119

แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 120

แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม..... 121

แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตรก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 122

แผนภูมิที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 131

แผนภูมิที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 131

แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังสูงสูด (Peak power) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 136

แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 137

แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 138

แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังสูงสูด (Peak power) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 138

แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 139

แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ... 140

แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 142

แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 144

แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 148

แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 148

แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม... 152

แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม... 152

แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 153

แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม 153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิ่งระยะสั้นจัดเป็นประเภทของการแข่งขันกรีฑาที่ได้รับความสนใจและความนิยมสูง สังเกตได้จากจำนวนผู้ติดตามจากทุกประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ในการแข่งขันกรีฑาทั้งระดับชาติและนานาชาติยังมีการทำลายสถิติกันมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับการแข่งขันกรีฑาในมหกรรมกีฬาต่าง ๆ ที่ประเทศไทยเข้าร่วมการแข่งขัน เช่น ซีเกมส์ เอเชียนเกมส์ นั้น นักกรีฑาทีมชาติไทยนั้นมักจะประสบความสำเร็จมากที่สุดคือการแข่งขันวิ่งระยะสั้น ซึ่งการวิ่งระยะสั้นนั้นใช้เวลาเป็นตัวแปรในการตัดสินผู้แพ้ชนะ อย่างไรก็ตามสถิติประเทศไทยในการวิ่งระยะสั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิ่ง 100 เมตรนั้น ยังไม่มีนักวิ่งคนใดสามารถทำลายสถิติลงได้มานานร่วมกว่า 2 ทศวรรษแล้ว ผู้วิจัยจึงสนใจในการพัฒนารูปแบบการฝึกเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างนักกีฬาชั้นยอดต่อไปได้ในอนาคต หากนักกีฬาคนใดที่สามารถทำความเร็วได้ดีที่สุดก็จะได้เปรียบนักกีฬาคนอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ผู้ฝึกสอนกรีฑาจึงพยามยามหารูปแบบการฝึกซ้อมที่เหมาะสมในการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาของตนเองอยู่เสมอ โดยจะต้องอาศัยการบูรณาการร่วมกันระหว่างความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาแขนงต่าง ๆ ที่ถูกต้องเพื่อให้นักกีฬาได้สามารถแสดงศักยภาพได้อย่างสูงสุด

ในการพัฒนาความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นจะต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบทั้งหมดของความเร็ว ได้แก่ การเร่งความเร็ว การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด และการรักษาความเร็วให้คงที่ แต่ส่วนที่มักจะถูกมองข้ามความสำคัญไปก็คือ ความสามารถในการเร่งความเร็ว ซึ่งถ้านักกีฬาได้รับการฝึกอย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้สามารถวิ่งได้เร็วขึ้นอย่างแน่นอน นอกจากนี้ในการแข่งขันกีฬาประเภททีมที่ต้องใช้การเคลื่อนที่ระยะสั้น ๆ เช่น ฟุตบอล รักบี้ฟุตบอล หรือ ฮอกกี้ ก็ต้องอาศัยความสามารถในการเร่งความเร็วเช่นเดียวกัน โดยทั่วไปการออกตัวเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการแข่งขันวิ่งระยะสั้นเพราะต้องแข่งขันกับเวลาใช้สถิติเป็นตัวกำหนด ถ้ามีความเร็วในการออกตัวหรือใช้เวลาในการออกตัวน้อยที่สุดก็จะทำให้ได้เปรียบคู่แข่งมากเท่านั้น สำหรับนักวิ่งระยะสั้นนั้นเริ่มต้นออกวิ่งด้วยการออกตัวด้วยที่ยันเท้าซึ่งจะต้องใช้พลังของกล้ามเนื้ออย่างสูงในการเอาชนะแรงโน้มถ่วงและแรงเฉื่อยของร่างกายเพื่อให้เกิดความเร็วสูงสุด และหากนักกีฬามีความสามารถในการเร่งความเร็วจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่มีความเร็วสูงสุดได้โดยใช้เวลาน้อยที่สุดและรักษาความเร็วสูงสุดนั้นไว้ได้ก็จะได้เปรียบนักกีฬาคนอื่นๆ จากการศึกษาของ Sleivert and Taingahue (2003) พบว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พลังกล้ามเนื้อนั้นมีความสัมพันธ์และมีผลต่อการเร่งความเร็วในช่วง 5 เมตรแรกของการออกตัวอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความเร็วที่จุด 10 เมตร จากจุดเริ่มต้นคิดเป็น 45% ของความเร็วสูงสุดซึ่งเป็นระยะที่มีการเร่งความเร็วเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด (Bruggemann and Glad, 1990) สอดคล้องกับ Letzelter (2006) ที่พบว่านักวิ่งที่มีสถิติที่ดีว่าจะมีอัตราการเร่งที่เร็วกว่าและนานกว่าจากจุดเริ่มต้นจนถึงระยะของความเร็วสูงสุด ดังนั้นความสามารถในการเร่งความเร็วเป็นส่วนที่ต้องอาศัยทักษะในการเคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพและจะต้องได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดี Bosch and Klomp (2001) กล่าวว่า ท่าทางและวิธีการในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็วกับในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูง จะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง โดย Dintiman and Ward (1998) ได้สรุปไว้ว่าคุณลักษณะของความสามารถในการเร่งความเร็วและการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดนั้นมีท่าทางการเคลื่อนไหวและการทำงานของกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการฝึกนักวิ่งระยะสั้นโดยเฉพาะนักวิ่ง 100 เมตรที่มีการออกวิ่งจากที่ยันเท้า (Starting block) อย่างรวดเร็วจึงต้องให้ความสำคัญกับท่าทางและวิธีการในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็ว ซึ่งการเร่งความเร็วอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้นักวิ่งสามารถเร่งความเร็วไปสู่ความเร็วสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว

ความเร็วของนักกีฬาจะดีขึ้นได้นั้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการฝึกด้วยแรงต้านหรือการฝึกด้วยน้ำหนัก ทั้งนี้ในการพัฒนาความเร็วจะต้องให้ความสำคัญทั้งความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อควบคู่ไปด้วยกัน โดยในปัจจุบันมีวิธีการฝึกที่หลากหลายที่สามารถพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถพัฒนาได้โดยการฝึกด้วยน้ำหนัก ขณะที่พลังของกล้ามเนื้อนั้นพัฒนาได้โดยการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฝึกพลัยโอเมตริกกล้ามเนื้อจะต้องมีความแข็งแรงพื้นฐานมาก่อน ดังที่ Ebben and Watts (1998) กล่าวว่าการฝึกด้วยน้ำหนักใช้เป็นการฝึกก่อนที่จะฝึกพลัยโอเมตริกเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดการบาดเจ็บ อีกทั้งเป็นการพัฒนาความแข็งแรงพื้นฐานและเตรียมระบบกล้ามเนื้อและกระดูกสำหรับรองรับแรงกระแทกที่หนักได้ นอกจากนี้ Chu (1996) ยังได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการฝึกพลัยโอเมตริกว่าการฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) นั้นเป็นสิ่งที่สัมพันธ์กันอันเป็นพื้นฐานที่ดีกับการฝึกพลัยโอเมตริก “the ideal counterpart to plyometric training” ซึ่งอาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า “การฝึกเชิงซ้อน” (Complex training)

การฝึกเชิงซ้อนนั้นเป็นวิธีการฝึกกล้ามเนื้อแบบหนึ่งที่นำมาใช้ในนักกีฬาที่ต้องการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไปพร้อมๆ กับการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ โดยใช้กระบวนการสองขั้นคือ ขั้นที่หนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ใช้การฝึกด้วยแรงต้านด้วยความหนักระดับสูงเพื่อระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วมาทำงานเป็นส่วนใหญ่ และในขั้นที่สองใช้การฝึกพลัยโอเมตริก การฝึกความเร็วหรือการฝึกทักษะเฉพาะในกีฬาชนิดนั้น ๆ โดยการฝึก พลัยโอเมตริกจะอาศัยการทำงานของวงจรยืดออก-หดสั้นเข้า (Stretch-shortening cycle; SSC) นั่นคือการให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วตามด้วยการหดตัวแบบความยาวลดลงอย่างเต็มที่ ในการฝึกขั้นนี้จะใช่ท่าเหมือนหรือใกล้เคียงกับท่าที่ใช้ในการฝึกด้วยแรงต้านในขั้นแรก และมีการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อที่สอดคล้องกับขั้นตอนแรกเช่นเดียวกัน โดยข้อดีของการฝึกเชิงซ้อนคือสามารถพัฒนาความแข็งแรงของนักกีฬาไปพร้อม ๆ กับการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อและความเร็วโดยใช้ระยะเวลาในการฝึกน้อยกว่าการฝึกทีละโปรแกรม อย่างไรก็ดีในการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อนั้นจะต้องอาศัยหลาย ๆ องค์ประกอบร่วมกันเพื่อพัฒนาความเร็วให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในแนวราบ (Speed bounding) เป็นท่าฝึกที่เน้นการเคลื่อนไหวในแนวราบด้วยความเร็ว โดย Young (1992) ได้กล่าวไว้ว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเป็นการผสมผสานทักษะการวิ่งเร็ว (Sprinting) กับ การกระโดดในแนวราบ (Bounding) เข้าด้วยกัน มีเป้าหมายให้ระยะการก้าวมากกว่าปกติและใช้ระยะเวลาเท้าสัมผัสพื้นให้น้อยที่สุด โดยปกติจะใช้ระยะทางในการฝึกไม่เกิน 30 เมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพลังระเบิดของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง ในนักวิ่งระยะสั้นนั้นจะต้องพัฒนาพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นออกวิ่ง (Starting power) และพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว (Acceleration power) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะออกแรงได้มากและออกแรงได้อย่างรวดเร็ว Bompa (1993) ได้กล่าวว่า พลังกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญสองประการ คือ ความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหล่านี้ จะต้องใช้ความหนักในระดับที่สามารถระดมเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วมาทำงานได้ พลังกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความยาวของช่วงก้าวในการวิ่ง (Stride length) และความถี่ในการก้าว (Stride frequency) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป้าหมายหลักของการฝึกความเร็วที่แท้จริง ก็คือ การระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่หดตัวได้เร็ว ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับความเร็วให้สามารถทำงานตามรูปแบบที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล

จะเห็นได้ว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในแนวราบ เป็นรูปแบบของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวสอดคล้องและคล้ายคลึงกันกับการวิ่งเร็ว นั่นจึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยสนใจนำการฝึกท่านี้มาเป็นรูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริก อีกทั้งยังมีความเชื่อมโยงกันกับความสามารถในการเร่งความเร็วเพราะเป็นรูปแบบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพลังระเบิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาการเร่งความเร็ว โดยสิ่งที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำคัญที่นักวิ่งระยะสั้นต้องปฏิบัติเมื่อวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในแนวราบ คือ การออกแรงถีบหรือผลักลงและไปข้างหลังต่อพื้น แรงผลักนั้นเกิดขึ้นโดยการเหยียดอย่างแรงของสะโพก ข้อเข่าและข้อเท้า ทำให้ร่างกายเคลื่อนไปข้างหน้า และยกตัวขึ้นเพื่อการก้าวต่อไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในการพัฒนาความเร็วนั้นการฝึกวิ่งเพียงอย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอและครอบคลุมองค์ประกอบของความเร็วได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีวิธีการฝึกแบบต่าง ๆ มาเสริม รูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาความเร็วนั้นมีการคิดค้น ดัดแปลงทดลองใช้อยู่ทั่วไปในการฝึกทั้งในอดีตและปัจจุบัน โดยมุ่งพัฒนาขีดความสามารถทางด้านความเร็วให้กับนักกีฬาเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการวิ่งเร็วโดยใช้แรงต้าน (Sprint-resisted method) หรือการวิ่งเร็วโดยการช่วยเสริมแรง (Sprint-assisted methods) โดยในการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็วนั้นมีรูปแบบการฝึกที่หลากหลาย ทั้งการฝึกด้วยวิธีการลากถ่วงน้ำหนัก การฝึกด้วยน้ำหนัก การฝึกพลัยโอเมตริก หรือการฝึกด้วยแรงต้านในแบบต่าง ๆ เป็นต้น โดยรูปแบบการฝึกการวิ่งขึ้นเนินนั้นก็เป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึกโดยอาศัยแรงต้าน ซึ่งใช้ประโยชน์จากแรงโน้มถ่วงของโลกและมุมองศาของพื้นลาดเอียงเป็นแรงต้าน สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงของการฝึกวิ่งบนพื้นลาดเอียง คือมุมของพื้นลาดเอียงนั้นจะต้องมีผลโดยตรงในการเป็นแรงต้านเพื่อใช้ในการเร่งความเร็ว อย่างไรก็ตามหากมีมุมที่ไม่เหมาะสมหรือชันเกินไป ก็จะส่งผลต่อลักษณะท่าทางและกลไกในการวิ่ง เสี่ยงต่อการบาดเจ็บของนักกีฬาอีกทั้งยังลดประสิทธิภาพในการส่งแรงเพื่อวิ่งไปข้างหน้า (Paradisis and Cooke, 2006)

ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายในการพัฒนานักกีฬาอายุ 14-16 ปี โดยสำหรับกลุ่มเด็กและเยาวชนที่มีเป้าหมายเล่นกีฬาเพื่อความเป็นเลิศที่เข้าสู่การฝึกซ้อมอย่างเป็นระบบนั้น ผู้ฝึกสอนบางส่วนยังมีความเข้าใจผิดในการฝึกซ้อมที่มุ่งเน้นให้ตัวเด็กได้รับการฝึกซ้อมอย่างหนักและให้ทำตามที่ตนเองได้รับการฝึกมา หรือนำรูปแบบการฝึกซ้อมของนักกีฬาระดับสูง (Elite athlete) มาใช้เพื่อหวังว่าจะให้เด็กมีศักยภาพที่ดีที่สุด เพราะฉะนั้นในการพัฒนาสมรรถนะของนักกีฬาระดับเยาวชนนั้นจะต้องได้รับการฝึกซ้อมอย่างถูกต้อง เหมาะสมและเป็นไปอย่างมีแบบแผนเพื่อที่จะสามารถพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เจริญ (2538) ได้กล่าวไว้ว่า ปัญหาของการฝึกซ้อมกีฬาของเด็กในปัจจุบันก็คือมีการฝึกซ้อมในรูปแบบเดียวกันกับผู้ใหญ่ซึ่งอาจส่งผลให้เด็กมีพัฒนาการที่ดีขึ้นในแค่ช่วงแรกแต่จะมีผลเสียตามมาในช่วงหลัง ผลกระทบที่จะตามมาคือการฝึกซ้อมที่หนักเหมือนผู้ใหญ่จะส่งผลเสียต่อเด็กในด้านสรีรวิทยา และการที่กระดูกยังเจริญไม่เต็มที่และยังไม่ปิดสนิท หากได้รับการฝึกไม่ดีหรือฝึกไม่ถูกต้องเหมาะสมก็อาจจะมีปัญหาตามข้อต่อต่าง ๆ และเสี่ยงต่อการบาดเจ็บอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่านักกีฬาในช่วงอายุ 14-16 ปี เพศชาย เป็นช่วงวัยที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนที่เพิ่มขึ้นอันมีผลต่อมวลกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นและการสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แรงได้มากขึ้น (Goswami, 2014) ดังนั้นช่วงวัยนี้จึงสามารถพัฒนาได้ด้วยการฝึกด้วยแรงต้านทานได้ (Arbeit, 1998; Malina, 2006) นอกจากนี้ Schiffer (2013) ยังได้สรุปไว้ว่าอายุประมาณ 15 ปีนั้นเป็นช่วงที่เรียกได้ว่า “ช่วงปีแห่งการลงทุน” (Investment years) ซึ่งจะมีความสำคัญอย่างมากหากนักกีฬาได้รับการวางแผนการซ้อม ออกแบบการฝึกและพัฒนาทักษะอย่างถูกต้องเหมาะสม นอกจากนี้หลายการศึกษาพบว่าการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริกในนักกีฬาเด็กสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้ ซึ่งจะมีความปลอดภัยหากกำหนดปริมาณ ความหนัก และเทคนิคอย่างเหมาะสม (Ramsay, 1990; Diallo et al., 2001; Matavulj et al., 2001; Faigenbaum et al., 2002; Kotzamanidis, 2006; Ratel et al, 2011; Faigenbaum et al, 2016) แม้กระทั่งการฝึกเชิงซ้อนซึ่งเป็นรูปแบบการฝึกซ้อมที่ค่อนข้างหนักก็สามารถนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับการพัฒนานักกีฬาเยาวชนได้ด้วยเช่นกัน (Mathew et al, 2006; Santos and Janeira, 2008; Ingle, Sleap, and Tolfrey, 2006; Thompson et al, 2017; Roden, Lambson, and DeBeliso, 2014) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการพัฒนานักกีฬาระดับเยาวชนด้วยการฝึกเชิงซ้อนผสมผสานที่อาศัยรูปแบบการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงในขั้นตอนของการฝึกพลัยโอเมตริกยังไม่พบว่าเป็นที่แพร่หลายมากนัก

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยต้องการที่จะพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วซึ่งการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษาโดยการศึกษาที่ 1 มุ่งศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกันของนักวิ่งระยะสั้น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมามีเพียงการใช้การฝึกวิ่งเร็วบนพื้นลาดเอียงด้วยลู่วิ่งกลปรับระดับ และการฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดบนพื้นลาดเอียงเท่านั้น แต่ยังไม่พบว่ามีการนำลักษณะของการฝึกพลัยโอเมตริกแนวราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดมาเป็นรูปแบบการฝึกร่วมบนพื้นลาดเอียง นอกจากนี้การศึกษารูปแบบการฝึกวิ่งบนพื้นลาดเอียงยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดของมุมพื้นลาดเอียงว่ามุมองศาเท่าใดมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุดในการพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว ซึ่งหากได้ทราบการฝึกบนมุมองศาที่ถูกต้องและเหมาะสมแล้วจะสามารถเชื่อมโยงไปสู่การพัฒนารูปแบบโปรแกรมการฝึก ซึ่งในการศึกษาที่ 2 จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้แรงดันอากาศกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียง โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ระยะทาง 10 เมตร ในการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็วด้วย อีกทั้งนำการฝึกแบบแรงดันอากาศมาใช้เป็นแรงต้านทานในขั้นตอนแรกของการฝึกเชิงซ้อนให้กับนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี ก็เพราะว่าการฝึกประเภทนี้กล้ามเนื้อสามารถออกแรงได้สม่ำเสมอตลอดช่วงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เคลื่อนไหว นักกีฬาสามารถสร้างความเร่งได้มากกว่าการฝึกด้วยน้ำหนักที่เคลื่อนไหวอย่างอิสระ (Free weight) ทำให้นักกีฬายกน้ำหนักได้เร็วขณะออกแรงเต็มที่ โดยไม่ต้องกังวลว่าจะมีการกระชากกลับของเครื่องฝึกตามโมเมนตัมที่เกิดจากการออกแรง อีกทั้งมีความปลอดภัยขณะทำการฝึก นอกจากนี้ยังมุ่งศึกษาถึงกลไกทางสรีรวิทยาระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วย เพื่อให้สามารถเลือกใช้ในการฝึกซ้อมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ นักกีฬาหรือผู้ฝึกสอนกีฬาตลอดจนบุคคลที่สนใจจะได้นำผลไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาการเร่งความเร็ว และเป็นแนวทางในการฝึกซ้อมของกีฬาชนิดอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี โดยมี 2 การศึกษาดังนี้

การศึกษาที่ 1 มีวัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน (พื้นราบ มุม 3 องศา มุม 6 องศาและมุม 9 องศา)

การศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

คำถามการวิจัย

1) การฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกันมีผลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต่างกันหรือไม่ อย่างไร

2) การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วหรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมุติฐานของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มี 2 การศึกษาโดยแต่ละการศึกษามีสมมติฐานการวิจัย ดังนี้

สมมติฐานในการศึกษาที่ 1

การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกันมีผลต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแตกต่างกัน

สมมติฐานในการศึกษาที่ 2

1) การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีผลทำให้ความสามารถในการเร่งความเร็วเพิ่มขึ้น

2) การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงมีผลทำให้ความสามารถในการเร่งความเร็วดีกว่าการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ

ขอบเขตของการวิจัย

1) การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อที่จะพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

2) การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษาดังนี้

<u>การศึกษาที่ 1</u> ศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน

<u>การศึกษาที่ 2</u> ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ระยะเวลาของการฝึก การศึกษาที่ 1 เป็นการศึกษาผลฉับพลันของการวิ่งบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน ใช้เวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ และการศึกษาที่ 2 ใช้เวลาในการฝึก 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน (วันจันทร์และวันพฤหัสบดี)

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น (Independent variables) คือ

1) การฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

2) โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง และ โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ

ตัวแปรตาม (Dependent variables) แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ตัวแปรตามในการศึกษาที่ 1 ประกอบด้วย คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว มีตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด (Percent of maximal voluntary contraction)

2) ระยะเวลาในการทำงานของ EMG ไปยังจุดสูงสุด (Time to peak)

3) อัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development)

โดยกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษามีดังต่อไปนี้

- Gastrocnemius medialis
- Soleus
- Tibialis anterior
- Vastus lateralis
- Rectus femoris
- Biceps femoris
- Semitendinosus
- Gluteus maximus
- Pectoralis major

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปรตามในการศึกษาที่ 2 คือความสามารถในการเร่งความเร็วซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) ความเร็ว (Velocity) จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร

2) พลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power)

- พลังสูงสุด (Peak power)
  - แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force)

- ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity)

3) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)

- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า

4) ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท ประกอบด้วย

- H-reflex ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และกล้ามเนื้อ Soleus
- M-wave ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และกล้ามเนื้อ Soleus

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1) กลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มทำการฝึกตามโปรแกรมโดยใช้สถานที่เดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน รวมถึงผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยชุดเดียวกันในสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกันทุกครั้ง

2) กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ และฝึกอย่างเต็มความสามารถ

คำจำกัดความของการวิจัย

นักวิ่งระยะสั้น (Sprinters) หมายถึง นักกรีฑาประเภทวิ่งระยะสั้นที่จะลงแข่งขันวิ่งในระยะ 100 เมตร 200 เมตร และ 400 เมตร

การฝึกเชิงซ้อน (Complex training) หมายถึง วิธีการฝึกกล้ามเนื้อรูปแบบหนึ่งที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อพร้อม ๆ กับการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ โดยใช้กระบวนการสองขั้นตอนคือขั้นที่หนึ่งเป็นการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้ความหนักสูงเพื่อระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วมาเป็นส่วนใหญ่ แล้วตามด้วยขั้นที่สอง คือ ใช้การฝึกพลัยโอเมตริก การฝึกความเร็ว หรือการฝึกทักษะเฉพาะทางทันทีในแต่ละชุดของการฝึก โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้การฝึกด้วยแรงดันอากาศในท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half squat) แล้วตามด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวที่มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาพลังระเบิด โดยมีการทำงานของกลุ่มของกล้ามเนื้อสอดคล้องกับท่าที่ฝึกด้วยแรงต้านด้วยเช่นกัน

การฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง (Speed bounding on slope surface) หมายถึง รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบกระโดดที่ในแนวราบที่มีขานำก้าวไปข้างหน้าให้ได้ระยะทางมากกว่าการก้าวแบบปกติ โดยใช้เวลาที่เท้าสัมผัสพื้น

ให้น้อยที่สุด ทำสลับกันทั้งสองข้างซึ่งทำการวิ่งบนพื้นลาดเอียง สำหรับการวิจัยครั้งนี้ทำการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ความสามารถในการเร่งความเร็ว (Acceleration ability) หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความเร็วจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ซึ่งมีองค์ประกอบคือ พลังของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการนำสัญญาณประสาท

พลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าพลังสูงสุด (Peak power) หมายถึง ค่าของผลคูณของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งกับความเร็วของบาร์เบล ณ ช่วงเวลาเดียวกันที่ทำให้เกิดค่าสูงสุด จากการแบกบาร์เบลไร้น้ำหนักแล้วกระโดดในเครื่องเอฟที 700 พาวเวอร์ ซิสเท็ม มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อกิโลกรัม โดยมีองค์ประกอบที่สนับสนุนการเกิดพลังสูงสุดดังนี้

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) หมายถึง แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งที่เกิดจากการออกแรงเหยียดข้อสะโพก ข้อเข่าและข้อเท้าลงบนแผ่นตรวจวัดแรงกระเทก (Force plate) ที่อยู่ในเครื่องเอฟที 700 พาวเวอร์ ซิสเท็ม เพื่อกระโดดขึ้นไปในแนวดิ่ง ณ ช่วงเวลาที่เกิดพลังสูงสุด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อกิโลกรัม

ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) หมายถึง ความเร็วของบาร์เบลในการเคลื่อนที่จากท่าเริ่มต้นของการออกแรงเหยียดข้อสะโพก ข้อเข่าและข้อเท้า กระโดดขึ้นไปในแนวดิ่งจนถึงจุดสูงสุด ณ ช่วงเวลาที่เกิดพลังสูงสุดแต่ละครั้ง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่า (Isokinetic peak torque of knee extension and flexion) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่าที่หดตัวแบบไอโซคิเนติกเพื่อเอาชนะแรงต้านทานได้มากที่สุด โดยทำการทดสอบขาข้างที่ถนัดด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อ Physiomed รุ่น CON-TREX multiple joint system pro 3 ผลิตโดยบริษัท physiomed AG ประเทศเยอรมนี มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (Nm)

ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท (Nerve conduction capacity) หมายถึง ความสามารถในการชักนำกระแสประสาท ผ่านการกระตุ้นสัญญาณไฟฟ้าผ่านทางผิวหนังทางเส้นประสาท Tibial บริเวณ the popliteal fossa ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความสามารถในการนำสัญญาณประสาท รุ่น MP36 และเครื่องกระตุ้นไฟฟ้ารุ่น Human-Safe Stimulator

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

STMHUM ผลิตโดยบริษัท BIOPAC Systems Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา มีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ (mV) การวิจัยครั้งนี้ศึกษาองค์ประกอบของความสามารถในการนำสัญญาณประสาท ประกอบด้วย H-reflex (Hmax) และ M-wave (Mmax) ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และกล้ามเนื้อ Soleus รายละเอียดดังนี้

เอช-รีเฟล็กซ์ (H-reflex) หมายถึง กระบวนการเกิดสัญญาณไฟฟ้าของสเตร็ชรีเฟล็กซ์ (Stretch reflex) โดยผ่านทาง alpha motor neuron และการปล่อยกระแสไฟฟ้าจาก muscle spindle โดยการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นการกระตุ้นทั้งเส้นประสาทสั่งการทำงานของกล้ามเนื้อ (Motor axon) และเส้นประสาทรับความรู้สึก (Sensory axon) ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความไวต่อการกระตุ้น motor neuron

เอ็มเวฟ (M-wave) หมายถึง ความสามารถในการระดมหน่วยยนต์เมื่อมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่า Mmax ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของ M-wave ที่แสดงถึงการตอบสนองของกล้ามเนื้อโดยเป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากทั้งกล้ามเนื้อและใยประสาทที่อยู่ในกล้ามเนื้อนั้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อความแรงของไฟฟ้าที่กระตุ้นมากถึงระดับเทรดโฮลด์ของ α motoneurons ของหน่วยประสาทยนต์ของกล้ามเนื้อกลุ่มที่หดตัวเร็ว

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) หมายถึง สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อ ด้วยเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อโดยตรงผ่านการวัดขั้วติดที่ผิวหนัง (Surface electrode) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ EMG Cometa รุ่น Wave plus EMG wireless ผลิตโดยบริษัท S.R.L. ประเทศอิตาลี โดยกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วยกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis, Soleus, Tibialis anterior, Vastus lateralis, Rectus femoris, Biceps femoris, Semitendinosus, Gluteus maximus, และ Pectoralis major

เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด (% Maximum voluntary contraction) หมายถึง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เทียบเป็นร้อยละจากการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะออกแรงโดยเทียบกับคาการออกแรงสูงสุดของกลามเนื้อเมื่อหดตัวแบบไอโซเมตริค

การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) หมายถึง การฝึกกล้ามเนื้อโดยใช้แรงต้านเป็นความหนักของการฝึก ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องฝึกด้วยแรงดันอากาศ (Pneumatic machine)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยี่ห้อ Keiser รุ่น A 300 squat model 1531 ผลิตโดยบริษัท Keiser corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ใช้แรงดันอากาศเป็นแรงต้าน ซึ่งสามารถให้แรงต้านไม่แตกต่างกันตลอดช่วงของการออกแรง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) เพื่อให้ทราบถึงข้อเท็จจริงในการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็ว ปัจจัยทางชีวกลศาสตร์และประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกความเร็วต่อไป

2) เพื่อเป็นแนวทางเลือกให้นักกีฬา และผู้ฝึกสอน ตลอดจนบุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

3) ได้นวัตกรรมสำหรับการใช้เพื่อฝึกความเร็วในนักวิ่งระยะสั้นที่เหมาะสมในระยะต่าง ๆ

4) สามารถนำผลไปปรับใช้เป็นรูปแบบการฝึกกับกีฬาประเภทอื่น ๆ ที่อาศัยความสามารถในการเร่งความเร็วเป็นองค์ประกอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้า และ รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสาร วารสาร ตำรา อินเตอร์เน็ต ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประกอบและเป็นแนวทางในการศึกษา ซึ่งได้เรียบเรียงไว้ดังนี้

ก. เอกสาร วารสาร ตำรา

1. การวิ่งระยะสั้น
2. องค์ประกอบที่สำคัญของการพัฒนาความเร็ว
3. ทฤษฎีและหลักในการฝึกความเร็ว
4. ทฤษฎีและหลักในการฝึกพลัยโอเมตริก
5. ทฤษฎีและหลักในการฝึกด้วยแรงต้านทานในนักกีฬาระดับเยาวชน
6. แนวคิด ทฤษฎี และหลักในการฝึกเชิงซ้อน
7. กลุ่มของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว
8. องค์ประกอบและความสำคัญของพลังกล้ามเนื้อ
9. ลักษณะทางกายภาพและบทบาทของการฝึกแรงต้านบนพื้นลาดเอียง
10. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
11. ระบบประสาทกล้ามเนื้อ

ข. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ
2. งานวิจัยต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การวิ่งระยะสั้น

ช่วงของการวิ่งระยะสั้น

การวิ่งระยะสั้น (The sprints) หมายถึงการแข่งขันกรีฑาประเภทลู่ ที่ใช้ระยะทางในการแข่งขัน ไม่เกิน 400 เมตร โดยนักกีฬาจะวิ่งด้วยความสามารถสูงสุดเพื่อเข้าเส้นชัย ประกอบด้วยการแข่งขัน 3 รายการ คือ 100 เมตร 200 เมตร และ 400 เมตร

ในการวิ่งระยะสั้นนั้นโดยทั่วไปผู้ฝึกสอนได้แบ่งช่วงของการวิ่งออกเป็น 3 ระยะด้วยกันคือ

การวิ่ง 100 เมตร เป็นการแข่งที่ต้องใช้แรงระเบิด ควบคู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ

1. ระยะเร่งความเร็ว (Acceleration phase) คือ ระยะตั้งแต่ 0 - 30 เมตร (แบ่งออกเป็นช่วง Pure acceleration และ transition)

2. ระยะความเร็วสูงสุด (Maximum velocity) คือระยะตั้งแต่ 30 - 60 เมตร

3. ระยะรักษาระดับความเร็ว (Speed maintenance phase) คือระยะตั้งแต่ 60-100 เมตร

Jarver (1995) กล่าวว่า นักกีฬาจะต้องพยายามทำให้วงจรของการวิ่งนี้ให้เป็นไปอย่างรวดเร็วที่สุดในการวิ่ง 100 เมตร โดยสามารถแบ่งออกเป็น

Supporting phase เป็นระยะที่เริ่มตั้งแต่เท้าอยู่บนพื้น และสิ้นสุดเมื่อจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายของนักกีฬาผ่านไปข้างหน้า

Driving phase ระยะถีบเท้าเป็นระยะที่เท้าลอยขึ้นจากพื้นหลังการสิ้นสุดของระยะที่เท้าอยู่บนพื้น (Supporting phrase)

Recovery Phase เมื่อเท้าลอยขึ้นจากพื้น และเหวี่ยงไปข้างหน้า เพื่อเตรียมลงสู่พื้น

เพราะฉะนั้นในการพัฒนาความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นจะต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบทั้งหมดของความเร็ว ได้แก่ การเร่งความเร็ว (Acceleration) การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (Maximum Velocity) และการรักษาความเร็วให้คงที่ (Speed maintenance) จะเห็นได้ว่าแต่ละระยะของการวิ่งจะมีลักษณะและความสำคัญแตกต่างกันไป เพราะในแต่ละระยะของการวิ่งนั้น วิธีการฝึกก็จะมีความแตกต่างกัน เช่น การฝึกพลัยโอเมตริก มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความสามารถของนักวิ่งในระยะ Acceleration phase เป็นต้น การฝึกเหล่านี้จะทำสลับกับการฝึกทักษะจริงเพื่อให้การแสดงออกทางกีฬาเกิดการปรับตัวให้เข้ากับระดับความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์การวิ่ง 100 เมตรนั้น ก็สามารถแบ่งช่วงของการวิเคราะห์ได้ตามความสำคัญและสิ่งที่ต้องการจะศึกษา ซึ่งจะมีรายละเอียดและปัจจัยที่แตกต่างกันไป Radford (1990) ได้แบ่งช่วงต่าง ๆ ของการวิ่ง 100 เมตร ไว้ 5 ช่วงดังนี้

1. Reaction response คือ ช่วงออกจากที่ยันเท้า ระยะทางตั้งแต่จุดเริ่มต้นสตาร์ทถึง 5 เมตร

2. Initiation of locomotion คือ ช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มความเร่ง ระยะทางตั้งแต่ 5 เมตรถึง 30 เมตร

3. Running acceleration คือ ช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มความเร่ง ระยะทางตั้งแต่ 30 เมตรถึง 50 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. Maximum velocity คือ ช่วงที่อัตราเร็วสูงสุด ระยะทางตั้งแต่ 50 เมตรถึง 80 เมตร

5. Decreasing velocity คือ ช่วงการลดลงของความเร็ว ระยะทางตั้งแต่ 80 เมตรถึงเส้นชัย

2. องค์ประกอบที่สำคัญของการพัฒนาความเร็ว

ในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความเร็ว ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาจะต้องพยายามพัฒนาทักษะกีฬาและเทคนิคควบคู่ไปด้วยกัน เพื่อให้การพัฒนาความเร็วในการเคลื่อนไหวขณะปฏิบัติทักษะได้ผลสูงสุด ในการพัฒนาความเร็วจะต้องเริ่มจากการปฏิบัติทักษะด้วยความเร็วพื้นฐานจากช้าไปสู่ความเร็วเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงระดับความเร็วสูงสุด โดยการปฏิบัติทักษะการเคลื่อนไหวทักษะกีฬาจะต้องถูกต้องสมบูรณ์ และควรจัดให้นักกีฬามีการปฏิบัติทักษะการเคลื่อนไหวและทักษะกีฬาด้วยความเร็วในทุก ๆ ทักษะที่เกี่ยวข้องกับประเภทกีฬานั้น ๆ อย่างสม่ำเสมอ

เจริญ (2538) กล่าวว่า องค์ประกอบสำคัญที่ควรได้รับการพิจารณาในการปรับปรุงความเร็วในการวิ่ง คือนักวิ่งระยะสั้น (Sprinter) จะต้องสามารถก้าวเท้าได้ยาวและเร็วกว่ากีฬาประเภทอื่น ด้วยเหตุนี้จึงควรมุ่งพัฒนาองค์ประกอบ 5 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ปฏิกิริยาในการตอบสนองและความสามารถในการเริ่มต้นออกวิ่ง
2) การเร่งอัตราความเร็วจนกระทั่งถึงความเร็วสูงสุด
3) ความยาวของช่วงก้าวในการวิ่ง
4) ความถี่หรืออัตราความเร็วในการก้าวเท้า และ
5) การทำงานของร่างกายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สอดคล้องกับ Allerheiligen (1994) ที่กล่าวว่า องค์ประกอบสำคัญที่จะทำให้นักกีฬาวิ่งได้เร็วนั้น ควรประกอบไปด้วยความถี่ และความยาวในการก้าวเท้า ลักษณะและท่าทางในการวิ่ง และการฝึกการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งรายละเอียดขององค์ประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ในการวิ่งมีดังนี้

1. ความถี่ของช่วงก้าว (Stride frequency) คือ จำนวนของช่วงก้าวที่ทำได้ในเวลาทั้งหมดที่ใช้ ในการวิ่ง โดยการปรับความถี่ของช่วงก้าวจะเกี่ยวข้องกับความสามารถที่จะลดเวลาระหว่างช่วงก้าวให้อยู่ในเวลาที่กำหนดหรือการเพิ่มความยาวของช่วงก้าว ซึ่งสอดคล้องกับ Warden (1986) ที่ได้กล่าวไว้ว่าการปรับปรุงความถี่ในการก้าวเท้าหรือการวิ่งจะทำให้นักกีฬาวิ่งได้เร็วขึ้นถ้าความยาวก้าวไม่ลดลง โดยความถี่ของการก้าวเท้าเป็นผลมาจากความสามารถในการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อและกระบวนการทางชีวเคมีภายในกล้ามเนื้อ รวมทั้งการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่ได้รับ

การกระตุ้น โดยความถี่ของช่วงก้าวสามารถพัฒนาได้ด้วยการฝึกเสริมความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความเร็วเชิงเส้นตรง เช่นการวิ่งลงเนินและการวิ่งลากถ่วงน้ำหนัก เป็นต้น

นอกจากนี้ Dintiman and Ward (1998) ได้กล่าวไว้ว่า การพัฒนาอัตราความเร็วในการก้าวเท้าวิ่งยังขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของท่าทางซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการวิ่ง 4 ประการคือ

1) ความเร็วในการเหยียดเท้าหน้าก้าวในขณะวิ่ง
2) ความเร็วในการถีบเท้ากระตุกเข่าของเท้าหลัง
3) ช่วงระยะเวลาที่ร่างกายลอยตัวอยู่ในอากาศ
4) ความสัมพันธ์ระหว่างจุดศูนย์ถ่วงกับตำแหน่งที่เท้าหน้าวางจรดพื้นเพื่อรองรับน้ำหนักตัวในขณะวิ่ง

2. ความยาวช่วงก้าว (Stride length) คือระยะทางที่ครอบคลุมในหนึ่งช่วงก้าว โดยความยาวของช่วงก้าวในการวิ่งเร็วขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) ลักษณะท่าทางการวิ่ง
2) กำลังความแข็งแรงของขาและเท้า
3) ความยืดหยุ่นของสะโพกและข้อเท้า
4) ความยาวของช่วงขา

3. ท่าทางการวิ่ง (Form of running) ท่าทางที่ถูกต้องและเหมาะกับการวิ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ของระบบประสาท โดยเรียนรู้ที่ความเร็วซ้ำ ๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นการสั่งงานของระบบประสาทก่อน (60-75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุด) และคอยเพิ่มความเร็วสู่ความเร็วสูงสุด ท่าทางการวิ่งและการฝึกที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญที่ควรได้รับจากการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำการวิ่งเพื่อเป็นการเสริมสร้างประสิทธิภาพของการวิ่งให้เกิดการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระและมีระบบแบบแผนมากยิ่งขึ้น

4. การฝึกความสามารถของกล้ามเนื้อในการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic capacity) ซึ่งการฝึกความสามารถของกล้ามเนื้อในการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นความสามารถที่กระทำได้ด้วยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดหรือเกือบสูงสุดโดยเหมาะสมกับนักกรีฑาโดยเฉพาะระยะทาง 100 เมตรหรือแม้กระทั่งในกรีฑาประเภทลาน เช่น ในนักกีฬาทุ่มน้ำหนัก เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ชูศักดิ์ (2528) ก็ยังได้สรุปว่าในกระบวนการพัฒนาความเร็วในการวิ่งนั้นมีหลักสำคัญ 3 ประการดังนี้คือ

1) เพิ่มพลังของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเหยียดขา

2) ฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ

3) แก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการวิ่ง

ดังนั้นหากนักวิ่งระยะสั้นหรือผู้ฝึกสอนได้มีการตระหนักถึงความสำคัญขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาก็สามารถที่จะช่วยพัฒนาความเร็วในการวิ่งได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับ Winnick and Short (1985) ที่กล่าวว่า ความเร็วสามารถพัฒนาได้โดยการเพิ่มแรงในการยืดเหยียดตัวของกล้ามเนื้อ ความสัมพันธ์ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงและความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อและการเพิ่มพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุดมุ่งหมายของการฝึกควรเน้นการพัฒนาระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นหลัก

3. ทฤษฎีและหลักในการฝึกความเร็ว

การวิ่งระยะสั้นขึ้นอยู่กับกำลังเป็นส่วนใหญ่ เกิดจากการพุ่งของร่างกายไปข้างหน้า โดยกำลังขาทั้ง สองข้าง อัตราเร็วของการพุ่งขึ้นอยู่กับการรวมกันของแรง และความเร็วของการหดตัวของกล้ามเนื้อ กำลังของกล้ามเนื้อมีบทบาทในระยะเร่งความเร็วของการวิ่งมากกว่าในระยะการวิ่งที่มีความเร็วคงที่แล้ว เนื่องจากกำลังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทั้งความแข็งแรง และความเร็ว ดั้งนั้นสามารถเพิ่มกำลังได้โดยเพิ่มความแข็งแรง หรือเพิ่มความเร็ว หรือเพิ่มทั้งสองอย่าง โดยที่นิยมทั่วไปในการจะทำให้กำลังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น คือการเพิ่มความแข็งแรง จากการศึกษาค้นคว้าหลายแห่งมีหลักฐานว่า การเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อเหยียดขาโดยโปรแกรมการฝึกด้วยน้ำหนักจะทำให้กำลังเพิ่มขึ้นได้ การเพิ่มนี้วัดได้โดยการที่จะกระโดดได้สูงขึ้น หลักฐานยังแสดงว่าการออกกำลังชนิดไอโซโทนิคจะได้ผลในการเพิ่มความแข็งแรงมากกว่าการ ออกกำลังกายชนิดไอโซเมตริก การเพิ่มความเร็วก็คือการเพิ่มความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อกลุ่มที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (Agonists) ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถทำให้เกิดได้โดยการเพิ่มความแข็งแรง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธีอื่นที่ใช้เพิ่มความเร็ว เช่น การเพิ่มการร่วมงานกัน (Co-ordination) การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ

ชูศักดิ์ และกันยา (2536) ได้รายงานว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ความยาวของกล้ามเนื้อ

เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความยาวเป็น 2 เท่าของเส้นใยกล้ามเนื้ออีกเส้นหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติภายในกล้ามเนื้อเหมือนกัน จะสามารถหดตัวได้สั้นเป็น 2 เท่าของการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อที่สั้นกว่า (ในเวลาเดียวกัน) ดังนั้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยยาวจึงได้เปรียบทางด้านความเร็วมากกว่ากล้ามเนื้อที่มีเส้นใยสั้น นอกจากนั้นเส้นใยกล้ามเนื้อที่อยู่ขนานกับแนวของมัดกล้ามเนื้อ ยังเพิ่มข้อได้เปรียบทางด้านความเร็วอีกด้วย

2. แรง และอัตราเร่ง

ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันกล่าวว่าอัตราเร่งของวัตถุได้สัดส่วนกับแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว หมายความว่าเมื่อแรงเพิ่มเป็น 2 เท่า อัตราเร่งก็จะเพิ่มเป็น 2 เท่า ดังนั้นนักวิ่งจะเพิ่มอัตราเร่งโดยการเพิ่มแรงของเท้าที่ใช้ยันพื้นที่วิ่ง

3. ผลของกำลังสอง

กฎนี้เกี่ยวกับแรงที่เป็นลบ คือ กฎนี้กล่าวว่าความต้านทานของอากาศ และน้ำจะแปรผันเป็นสัดส่วนกับความเร็วกำลังสอง ถ้าความเร็วของร่างกายเพิ่มเป็น 2 เท่า ความต้านทานจะเพิ่มเป็น 4 เท่า และถ้าเพิ่มความเร็วเป็น 4 เท่า ความต้านทานจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 16 เท่า

4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรง

มีงานวิจัยพบว่า แรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง เมื่ออัตราของการหดสั้นเพิ่มขึ้น กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้แรงมากที่สุดเมื่อความเร็วของการหดตัวเป็นศูนย์ (คือการหดตัวชนิดไอโซเมตริก) ในทำนองเดียวกันกล้ามเนื้อจะหดตัวได้ความเร็วมากที่สุดเมื่อไม่มีความต้านทานเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อมีความต้านทานกล้ามเนื้อจะหดตัวด้วยความเร็วน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. อายุ และเพศ

ในผู้ชายความเร็วจะเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 21 ปี ความเร็วสูงสุดจะคงอยู่ 3-4 ปี หลังจากนั้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นความเร็วจะค่อย ๆ ลดลงด้วยอัตราคงที่

6. อุณหภูมิ

นักวิจัยพบว่าความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิของกล้ามเนื้อโดยการออกกำลังกายเพื่ออบอุ่นร่างกายเป็นวิธีที่ดีที่สุด

7. ลักษณะรูปร่างของร่างกาย

ผู้ที่เหมาะในการวิ่งน่าจะเป็นผู้ที่มีความสูงขนาดกลาง และมีรูปร่างอยู่ในระหว่างคนผอมและคนขนาดกลาง หรือจัดอยู่ในพวกที่เรียกว่า Meso - Ectomorphs อย่างไรก็ดีมีข้อยกเว้นอยู่บ้าง

8. ความแข็งแรง

ความแข็งแรง และความเร็วจะมีความสัมพันธ์กันน้อย ถ้าเป็นการเคลื่อนไหวที่มีความต้านทานน้อย แต่เมื่อความเร็วของการเคลื่อนไหวที่มีความต้านทานมาก ความแข็งแรงมีส่วนเกี่ยวข้องอยู่มาก ทั้งมีหลักฐานว่าความแข็งแรงที่พัฒนาได้จากการฝึกชนิดไอโซโทนิกจะเกี่ยวข้องกับความเร็วมากกว่าการฝึกไอโซเมตริก

9. ความอ่อนตัว

เป็นที่ทราบกันว่า การจำกัดความอ่อนตัว (น้อยกว่าปกติ) ของบริเวณสะโพกและต้นขาจะทำให้ความเร็วในการวิ่งลดลง เพราะการขัดขวางจากกลุ่มกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้ามเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่การเคลื่อนไหวเกือบจะสุด เช่นการเหยียดเกือบจะเต็มที่

10. ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความเร็วภายใต้สภาวะต่างกัน

10.1 การเคลื่อนไหวอย่างง่ายที่มีความต้านทานน้อย

ความเร็วของการหดตัวของกล้ามเนื้อซึ่งเกิดภายในกล้ามเนื้อเองเป็นปัจจัยที่จำกัดความเร็วส่วนการร่วมงานกันของกล้ามเนื้อโดยอาศัยระบบ ประสาท และแรงกล้ามเนื้อมีความสำคัญรองลงไป

10.2 การเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนที่มีความต้านทานน้อย

การร่วมงานกันของกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหวชนิดต่าง ๆ เป็นตัวจำกัดความเร็วของการเคลื่อนไหว

10.3 การเคลื่อนไหวซับซ้อนที่มีความต้านทานมาก

การร่วมงานกันของกล้ามเนื้อ และความแข็งแรงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว

11. กลไกการเคลื่อนไหวของร่างกาย และความเร็วในการวิ่ง

จากการวิเคราะห์โดยการถ่ายรูปแสดงว่า การวิ่งระยะสั้นที่มีประสิทธิภาพนั้น มีการยกหัวเข่าสูง ช่วงก้าวยาวและวางเท้าลงในตำแหน่งที่อยู่ใต้จุดศูนย์ถ่วงของผู้วิ่ง สิ่งที่มีความสำคัญในการวิ่งก็คือแรงขับต้องตรงไปข้างหน้า ขาควรเคลื่อนไหวตรงไปข้างหน้าและข้างหลัง แขนและไหล่ควร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เคลื่อนไหวในแนวที่จะดึงร่างกายให้เหมาะสมไปทางที่ร่างกายต้องการ และมุมของการพุ่งของร่างกาย (ที่ทำกับพื้น) ควรจะเหมาะสมเพื่อที่ให้ได้ความเร็วมากที่สุด

ในการแข่งขันกีฬาแทบทุกชนิดนั้นจะต้องอาศัยความเร็ว ที่เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้เกิดความได้เปรียบในเกมการแข่งขันที่กำลังดำเนินอยู่ทุกโอกาส โดยเฉพาะความเร็วในการเคลื่อนที่ระยะทาง 20-40 เมตรแรกนั้น นับเป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่ง ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นการทำงานประสานกันระหว่างระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ วิธีการฝึกความเร็วโดยการเคลื่อนไหวเร็วๆ ซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานานจะเพิ่มประสิทธิภาพของคำสั่งของระบบประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและทำให้ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น โดยหลักในการฝึกความเร็วมีดังนี้

- ฝึกท่าทางที่ถูกต้องซ้ำ ๆ และปฏิบัติซ้ำ ๆ กัน
- เพิ่มความเร็วทีและน้อยจนถึงจุดสูงสุด
- ฝึกความคล่องแคล่วของระบบการเคลื่อนไหว โดยการบริหาร การเหยียดกล้ามเนื้อ
- การฝึกพยายามอย่าให้เกิดอันตรายแก่กล้ามเนื้อ ก่อนฝึกควรอบอุ่นร่างกายอย่างดีเสียก่อน ระยะเวลา 10-15 นาทีและใช้เวลาในการฝึกจริง ๆ 30-40 นาที
- ฝึกเป็นช่วง ๆ และ หนัก ให้เวลาพักระหว่างช่วงเล็กน้อย 2-3 นาที

ผลจากการฝึกความเร็ว

1. การฝึกความเร็วนี้กล้ามเนื้อขาวเท่านั้นที่จะทำงานได้ดี เพราะกล้ามเนื้อขาวมีคุณสมบัติในการหดตัวได้แรงและเร็ว
2. การฝึกจะทำให้แหล่งพลังงานเอทีพี–พีซี ในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นและทำให้กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติของกล้ามเนื้อขาวเพิ่มขึ้นและสมบูรณ์ขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เจริญ (2538) ได้กล่าวถึงเทคนิคการวิ่งระยะสั้น พอสรุปได้ดังนี้

1. กลไกการวิ่ง (Mechanics of running) หลักสำคัญในการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มเติมความเร็ว ขั้นแรกควรฝึกเพิ่มความยาวของการก้าวเท้า โดยพยายามให้ช่วงก้าวแต่ละจังหวะของการวิ่งยาวที่สุด ขั้นที่สอง เริ่มฝึกความเร็วโดยเน้นความถี่ในการก้าวต่อหนึ่งหน่วยเวลาให้ได้จำนวนก้าวมากที่สุด

2. การแกว่งแขน (Arm action) มุมการเคลื่อนไหวของหัวไหล่และลักษณะการแกว่งแขนขึ้นอยู่กับความเร็วในการวิ่ง ถ้านักวิ่งเร่งความเร็วในการวิ่งมากเท่าไหร่ มุมของการเคลื่อนไหวของข้อต่อหัวไหล่และแขนจะยิ่งเพิ่มขึ้น

3. จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย (Center of gravity) การปรับมุมลำตัวให้โน้มไปข้างหน้าเล็กน้อยเป็นการช่วยปรับระดับจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและช่วยควบคุมจุดศูนย์ถ่วงให้อยู่ในแนวหรือระดับที่ต้องการ

4. สภาวะความตึงเครียดของกล้ามเนื้อขณะวิ่ง (Tension) อาการเกร็งหรือความเครียดที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อจะเริ่มปรากฏขึ้นที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นคอที่เชื่อมต่อกับหัวไหล่ ต้นแขน ลำตัว ต้นขา สะโพก นักวิ่งจะต้องสามารถหาวิธีลดสภาวะความเครียดหรืออาการเกร็งของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ให้ผ่อนคลายลง

5. ตำแหน่งที่เท้าสัมผัสพื้น (Foot position) ในกรณีใช้ความเร็วในการวิ่งสูง ตำแหน่งของเท้าที่จะวางเป็นปลายเท้าด้านนอกตรงโคนนิ้วก้อย

6. การทำงานของเข่าในขณะวิ่ง (Knee action) ในการวิ่งเร็วที่ถูกต้องตามหลักการของการเคลื่อนไหวนั้น ควรยกเข่าสูงขึ้นจนกระทั่งอยู่ในระดับเดียวกับสะโพกหรือต้นขาขนานกับพื้น ในขณะที่เท้าอีกข้างหนึ่งสัมผัสพื้นพยุงร่างกายทรงตัวและถีบยันพื้นเพื่อก้าวไปข้างหน้า ขณะวิ่งจะไม่มีช่วงใดเลยที่เข่าเหยียดตึงเต็มที่

7. แรงฉุด (Breaking force) แรงรั้งหรือแรงต้านทานการเคลื่อนไหวของร่างกายอันเกิดจากการจัดสัดส่วนของร่างกายในขณะวิ่งไม่ถูกต้อง มีผลทำให้ความเร็วในการวิ่งลดลงหรือทำให้ไม่สามารถวิ่งได้เร็วเท่าที่ควร

8. การทำงานของสะโพกขณะวิ่ง (Hip action) ในการเคลื่อนไหวที่เปลี่ยนตำแหน่งอย่างรวดเร็วฉับไวนั้นปฏิกิริยาการทำงานของข้อต่อสะโพกนั้นจะต้องเป็นไปอย่างรวดเร็วฉับไวด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bosch and Klomp (2001) กล่าวว่า ท่าทางและวิธีในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็วกับในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูง จะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ดังนั้นในการฝึกวิ่งระยะสั้นโดยเฉพาะนักวิ่ง 100 เมตรที่มีการออกวิ่งจากที่ยันเท้า (Starting block) อย่างรวดเร็วจึงต้องให้ความสำคัญกับท่าทาง และวิธีการในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็ว ซึ่งการเร่งความเร็วอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้นักวิ่งสามารถเร่งความเร็วไปสู่ความเร็วสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว โดยได้แบ่งท่าทางและวิธีการในการเคลื่อนที่ของร่างกายออกเป็นสองระยะ คือ

1. ระยะเริ่มต้นออกวิ่ง (Start phase) มีองค์ประกอบสองส่วนที่มีผลต่อรูปแบบในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่ง คือ

1.1 ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นนาน (Long ground – Contact time) ในขณะเริ่มต้นออกวิ่งนั้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในก้าวแรก

ของการวิ่ง ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสอยู่ระหว่าง 0.12 ถึง 0.18 วินาที จะนานกว่าในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ซึ่งระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นอยู่ระหว่าง 0.07 ถึง 0.09 วินาที ในขณะเริ่มต้นออกวิ่งนั้นลำตัวจะโน้มไปข้างหน้า และการวางเท้าลงที่พื้นก็จะอยู่ในลักษณะเข่างอ ดังนั้น ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นนานจึงทำให้นักวิ่งสามารถรั้งหรือถ่วงไม่ให้เกิดอาการคะมำไปข้างหน้าซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากนักวิ่งออกแรงถีบกับพื้นให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งนักวิ่งจะต้องพยายามงอเข่าอีกข้างหนึ่งให้มากที่สุดเช่นกัน

1.2 การทำงานของกล้ามเนื้อแบบความยาวลดลงในลักษณะแรงระเบิด (Explosive concentric muscle action) ในขณะเริ่มต้นออกวิ่งนั้นผลสืบเนื่องมาจากการที่นักวิ่งโน้มตัวไปข้างหน้าก็คือนักวิ่งจะต้องวางเท้าที่พื้นในลักษณะงอเข่าและสะโพก ซึ่งเอื้อต่อการทำงานของขาได้อย่างเต็มที่ เมื่อจัดท่าทางของร่างกายให้ทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่พื้นอยู่ด้านหลังของหัวเข่าและอยู่ด้านหน้าของสะโพกทำให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกทำงานแบบความยาวลดลงได้อย่างเต็มที่ในลักษณะแรงระเบิด โดยกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris ซึ่งทำหน้าที่เหยียดเข่าจะทำงานร่วมกับกล้ามเนื้อ Gluteus maximus ซึ่งทำหน้าที่เหยียดสะโพก หลังจากก้าวแรกของการวิ่ง ลำตัวของนักวิ่งจะค่อยๆตั้งตรงขึ้นโดยที่ความเร็วจะค่อยๆเพิ่มขึ้น มุมของเข่าข้างที่เท้าสัมผัสพื้นก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อ Quadriceps femoris ค่อยๆลดบทบาทลง

2. ระยะเร่งความเร็ว (Acceleration phase) มีองค์ประกอบสี่ส่วนที่มีผลต่อรูปแบบในการเคลื่อนที่ของร่างกายในระนาบหน้า – หลัง ในขณะเร่งความเร็วคือ

2.1 การเคลื่อนที่ในขณะเท้าเริ่มสัมผัสพื้น (Movement of initial contact) เนื่องจากลำตัวอยู่ในลักษณะโน้มไปข้างหน้าทำให้จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่เส้นศูนย์ถ่วงตกห่างออกไปข้างหน้าจากจุดที่เท้าสัมผัสพื้น ซึ่งเกิดจากอาการคะมำไปข้างหน้า (Forward rotation) ส่วนระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นยังนานอยู่แต่จะค่อยๆลดลงเมื่อจำนวนก้าวและความเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นในขณะเท้าเริ่มสัมผัสพื้นนักวิ่งจะต้องวางเท้าสู่พื้นในลักษณะงอเข่า และสะโพกซึ่งเอื้อต่อการทำงานของขาอย่างเต็มที่ ทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่พื้นอยู่ด้านหลังของหัวเข่าและอยู่ด้านหน้าสะโพก ทำให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกทำงานแบบความยาวลดลงได้อย่างเต็มที่ในลักษณะแรงระเบิด

2.2 ระยะการถีบเท้า (Thrust phase) ในการออกแรงถีบเท้าลงที่พื้นเพื่อให้เกิดแรงปฏิกิริยานั้น นักวิ่งจะต้องเหยียดเข่าจนเกือบจะเต็มที่ นอกจากนั้นจะต้องออกแรงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และนานที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยเฉพาะในช่วงปลายของการเหยียดเข่า การเหยียดเข่าเพื่อถีบเท้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลงที่พื้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับขาข้างที่เหวี่ยงเพื่องอสะโพก โดยที่เมื่อขาข้างที่เหวี่ยงหยุดการเคลื่อนไหว ขาข้างที่ออกแรงเหยียดเข่าเพื่อถีบเท้าลงที่พื้นก็จะหยุดการเคลื่อนไหวเช่นกัน ซึ่งการเคลื่อนไหวของขาทั้งสองข้างเป็นไปโดยอัตโนมัติ เมื่อออกแรงเหยียดเข่าถีบเท้าลงที่พื้นได้ดีและรวดเร็วก็จะทำให้ขาข้างที่เหวี่ยงเคลื่อนที่ได้ไกลขึ้น และสูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังทำให้เท้าข้างที่เหวี่ยงนั้นไม่อยู่ในลักษณะงอเข้าหาหน้าแข้งนานเกินไป ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการวางเท้าในก้าวต่อไป

2.3 จังหวะที่ปลายเท้าพ้นพื้น (Movement of toe-off) ในจังหวะที่ปลายเท้าพ้นพื้นนั้น เป็นจังหวะที่สิ้นสุดการออกแรงเหยียดเข่าเพื่อถีบเท้าลงที่พื้น และช่วงกว้างของการเหยียดสะโพกนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลำตัวที่ทำมุมกับพื้น ส่วนขาข้างที่เหวี่ยงไปข้างหน้านั้นก็จะหยุดการเคลื่อนไหวไปข้างหน้าเตรียมที่จะเปลี่ยนแนวการเคลื่อนไหวโดยเข่าจะเป็นมุม 90 องศาเป็นอย่างน้อย ในขณะที่สะโพกเอียงไปข้างหน้า หลังเหยียดตึงและแขนทั้งสองข้างเหวี่ยงไปข้างบนสลับกัน

2.4 ระยะเคลื่อนที่พ้นพื้น (Floating phase) ในระยะเคลื่อนที่พ้นพื้นนี้ค่อนข้างสั้น เนื่องจากลำตัวยังโน้มไปข้างหน้า จึงทำให้นักวิ่งลอยขึ้นจากพื้นไม่มากนักและเท้าข้างที่เหวี่ยงไปข้างหน้าก็ไม่สูงจากพื้นมากนักเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถวางเท้าลงสู่พื้นได้อย่างรวดเร็วด้วยการกดเท้าลงให้แรงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้กล้ามเนื้อทำงานแบบความยาวเพิ่มขึ้น โดยสะสมพลังงานไว้แล้วถ่ายโยงไปสู่การทำงานแบบความยาวลดลงที่จะเกิดขึ้นหลังจากนั้น ทั้งนี้อาศัยความสามารถในการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ในระยะเร่งความเร็วนี้ลำตัวจะไม่โน้มไปข้างหน้ามากนักและลำตัวจะทำมุมกับพื้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนก้าวเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถยกขาข้างที่อยู่ด้านหลังให้พ้นพื้นแล้วเหวี่ยงไปข้างหน้าได้อย่างรวดเร็วและตรงทิศทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของการทำงานของกล้ามเนื้อแขนในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็วนั้น การเหวี่ยงแขนจะกว้างกว่าในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูง เนื่องจากระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นนานกว่า ทำให้แขนมีส่วนช่วยในการเคลื่อนที่ของร่างกายเป็นระยะเวลานานกว่า เนื่องจากลำตัวโน้มไปข้างหน้า ดังนั้นในช่วงปลายของการเหวี่ยงแขนจึงไม่ค่อยได้ช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเหมือนกับในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูง แต่จะช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่า

4. ทฤษฎีและหลักการฝึกพลัยโอเมตริก

ความสำคัญของการฝึกพลัยโอเมตริก

พลัยโอเมตริก (Plyometric) นับได้ว่าเป็นรูปแบบของการออกกำลังกายที่มีเป้าหมาย ในการเพิ่มพลังระเบิด (Explosive power) ซึ่งได้มีการใช้ในการฝึกนักกีฬาในหลายๆประเภทมานานแล้วแต่เริ่มได้รับความนิยมเมื่อไม่นานมานี้เอง ปัจจุบันการฝึกแบบนี้เป็นการนำเอาเทคนิคต่าง ๆ ที่ทันสมัยมาร่วมใช้ในการฝึกรูปแบบใหม่ๆ ผสมผสานกันเพื่อพัฒนากำลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ได้มีผู้ให้คำจำกัดความของพลัยโอเมตริก ไว้ดังนี้

พลัยโอเมตริก มาจากภาษา กรีก คือ Plethyein และมีความหมายว่าเพิ่มมากขึ้นหรือมาจากรากศัพท์ภาษากรีกที่ว่า Plio หมายถึง เพิ่มขึ้นมากขึ้นอีกรวมกับคำว่า Metric ซึ่งหมายถึง การวัดขนาดหรือระยะ (Measure) ตามที่เข้าใจในปัจจุบัน การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก จึงหมายถึงการออกกำลังกายหรือการฝึกบริหารกายที่รวมไว้ซึ่งกำลัง ความแข็งแรงและความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน โดย เจริญ (2538) ได้กล่าวไว้ว่า ลักษณะของการฝึกพลัยโอเมตริก สามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่น การฝึกกระโดด (Jump training) และ เขย่ง (Hopping) ในรูปแบบต่าง ๆ กัน

การฝึกพลัยโอเมตริก (Plyometric training) หมายถึง การฝึกเพื่อเสริมสร้างกำลังกล้ามเนื้อมีลักษณะของการยืดตัวออกของกล้ามเนื้อและการหดสั้นเข้าอย่างรวดเร็วเพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นการเชื่อมโยงความแข็งแรงกับความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้าน ซึ่งจะใช้รูปแบบของการกระโดด และการเขย่ง ในการฝึกด้วยรูปแบบแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Chu and Plummer (1984) ที่ได้ให้คำจำกัดความของพลัยโอเมตริกไว้ว่า “พลัยโอเมตริกคือ การฝึกหัดหรือการออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมความแข็งแรงกับความเร็วของการเคลื่อนไหวเพื่อทำให้เกิดประเภทของการเคลื่อนไหวแบบรวดเร็วมักใช้การฝึกกระโดดและการฝึกเด็พธ์จัมพ์ (Depth jump) และ พลัยโอเมตริกอาจรวมถึงการฝึกหัดหรือการออกกำลังกายใดๆ ก็ได้ที่ใช้ปฏิกิริยาสะท้อนแบบยืดเหยียด (Stretch reflex) เพื่อผลิตแรงปฏิกิริยาหรือแรงโต้ตอบอย่างรวดเร็ว”

สนธยา สีละมาด (2547) ได้กล่าวไว้ว่า พลัยโอเมตริกมีพื้นฐานมาจากวงจรการยืดออก-การหดสั้นเข้า (Stretching-shortening cycle) หรือรีเฟล็กซ์ยืด (Stretch reflex) ซึ่งกล้ามเนื้อจะมีการยืดยาวออก หรือหดตัวแบบเอกเซนตริก (Eccentric) และตามด้วยการหดสั้นเข้าหรือหดตัวแบบคอนเซนตริก (Concentric) อย่างฉับพลัน ตามหลักสรีรวิทยาได้มีการแสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อที่มีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยืดยาวออกก่อนที่จะหดตัวจะสามารถหดตัวได้อย่างเต็มกำลังและรวดเร็วมาก ตัวอย่างเช่น ถ้านักกีฬายืนอยู่บนกล่อง และกระโดดลงสู่พื้น (มีการงอเข่า) และกระโดดขึ้นทันทีที่เท้าสัมผัสพื้น การปฏิบัติเช่นนี้จัดเป็นพื้นฐานของการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกทันใดที่อุ้งฝ่าเท้า (Ball of foot) สัมผัสพื้น และมีการงอเข่าอย่างรวดเร็วจะเป็น ผลทำให้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Hip extensors) มีการทำงานแบบยืดยาวออกอย่างรวดเร็ว การลดลงของอัตราความเร็วของร่างกายอย่างรวดเร็ว (หดตัวแบบเอกเซนตริก) และตามด้วยการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอัตราความเร็ว (หดตัวแบบคอนเซนตริก) ในทิศทางตรงกันข้ามผลของการทำงานแบบยืดยาวออกอย่างรวดเร็วจะก่อให้เกิดรีเฟล็กซ์ยืด หรือวงจรการยืดออก-การหดสั้นเข้า ซึ่งเป็นผลทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบสั้นเข้าอย่างเต็มกำลังการทำงานของรีเฟล็กซ์ยืด (Stretch reflex) จะเป็นตัวกำหนดระดับการยืดของกล้ามเนื้อและจะป้องกันไม่ให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกมากเกิน โดยอาศัยกลไกการทำงานของตัวรับความรู้สึกในกล้ามเนื้อ (Muscle spindle) ตัวรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อจะรับรู้ถึงอัตราและขนาดของการยืดยาวออก และประสาทรับความรู้สึกของตัวรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อจะส่งสัญญาณประสาทไปยังประสาทสั่งการ (Motor neuron) ในประสาทไขสันหลัง (Spinal column) และประสาทสั่งการนี้เองจะเป็นตัวส่งสัญญาณประสาทมายังกล้ามเนื้อที่ยืดยาวออกให้มีการหดตัวกลับเพื่อป้องกันการยืดยาวออกที่มากเกิน และบาดเจ็บตามที่ภายในกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่ทำหน้าที่หดตัว (Contractile element) ซึ่งจะเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อ และส่วนที่ไม่ได้ทำหน้าที่ในการหดตัว (Non-contractile) แต่จะเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่น (Elastic component) เมื่อมีการยืดยาวออกขององค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่นขณะที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกจะก่อให้เกิดพลังงานศักย์ (Potential energy) เหมือนกับการทำงานของสปริง เมื่อพลังงานศักย์มีการปลดปล่อยจะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของพลังงานในการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ การทำงานลักษณะดังกล่าวจะพบได้ในการเคลื่อนไหวแบบพลัยโอเมตริกเมื่อกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกอย่างรวดเร็วองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่นจะมีการยืดยาวออก ดังนั้นจะมีการสะสมปริมาณของแรงในรูปของพลังงานศักย์ และการปลดปล่อยพลังงานศักย์ที่สะสมไว้จะเกิดขึ้นขณะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวสั้นเข้าซึ่งจะปล่อยออกมาในรูปของรีเฟล็กซ์ยืด

องค์ประกอบที่สำคัญของการปฏิบัติแบบพลัยโอเตริกจะแบ่งออกได้ 3 ระยะ คือระยะกล้ามเนื้อยืดยาวออก (Eccentric phase) ระยะสะสมพลังงาน (Amortization phase) และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า (Concentric phase) ระยะสะสมพลังงานเป็นช่วงเวลาจากกล้ามเนื้อเริ่มต้นทำงานแบบยืดยาวออก (สัมผัสพื้น) ถึงเริ่มต้นการทำงานแบบหดสั้นเข้า (เริ่มต้นการกระโดด) ผลของการทำงานแบบพลัยโอเมตริก ดังกล่าว กล้ามเนื้อขาจะมีการทำงานเหมือนกับการยืดยางยืดอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นผลให้มีพลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อมากขึ้น ทำนองเดียวกันกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกซ้อมจะมีความสามารถในการทำงานแบบพลังระเบิดมากขึ้น ข้อดีที่ได้รับจากรีเฟล็กซ์ยืดจะทำให้ระยะสะสมพลังงานสั้นลง จากการศึกษาในนักกีฬาประเภทกระโดด และนักวิ่งระยะสั้นหรือนักกีฬาอื่น ๆ ที่อาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อแบบความเร็วแข็งแรง (Speed–Strength) จะพบว่าเท้าของนักกีฬาจะมีเวลาในการสัมผัสพื้นช่วงสั้นๆ เพราะนักกีฬามีความสามารถในการใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในระยะกล้ามเนื้อยืดยาวออกและนำมาใช้ในระยะกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า โดยเป็นความสามารถของระบบประสาทและกล้ามเนื้อในการสร้างแรงกระตุ้นที่ให้ได้มากที่สุดภายในเวลาที่สั้นที่สุด

อย่างไรก็ตามพลังงานศักย์ (Potential energy) ที่พัฒนาขึ้นในระยะแรกสามารถสูญเสียไปได้ในรูปของพลังงานความร้อน ถ้าการหดตัวแบบเอ็กเซนตริกไม่ตามด้วยการหดตัวแบบคอนเซนตริกอย่างรวดเร็วจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ต้องพึงระลึกไว้เสมอว่าอัตราความเร็วของการยืดยาวออกจะมีความสำคัญมากกว่าขนาดของการยืดยาวออกเมื่อใช้เวลาการเคลื่อนไหวสั้นและรวดเร็วพลังจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเคลื่อนไหวนานและช้า

Chance (1995) ได้กล่าวไว้ว่าการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกว่าเป็นการเหยียดตัวออกอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวจะทำให้เกิดผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างแรงมากขึ้น การที่กล้ามเนื้อเหยียดตัวออกเร็วเท่าใดก็ยิ่งมีการพัฒนาแรงหดตัวสั้นเข้าทันทีมากยิ่งขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการฝึกพลัยโอเมตริกจึงมีเป้าหมายเพื่อเชื่อมระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกับความเร็วของการเคลื่อนไหว ซึ่งก็คือการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อนั่นเอง

Chu (1992) กล่าวว่า จากการวิจัยทางด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวกับพลัยโอเมตริกทำให้เกิดความเห็นสอดคล้องกันว่า มีปัจจัยที่สำคัญสองประการที่ส่งผลต่อพลัยโอเมตริก คือ ความยืดหยุ่นตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle elasticity) และ รีเฟล็กซ์ยืด (Stretch reflex) ซึ่งจากการศึกษาของ Asmussen and Bonde – Peterson (1974) พบว่า ขนาดของพลังงานที่เกิดจากการหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อสามารถที่จะถ่ายโยงไปสู่การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความยาวลดลงที่ตามมานั้นได้ แต่ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความยาวเพิ่มขึ้นนั้นใช้เวลานานขึ้น พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่ถ่ายโยงไปก็จะมีขนาดลดลง นั่นคือการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความยาวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่อย่างรวดเร็วมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพมากกว่าและถ่ายโยงพลังงานได้มากกว่า อย่างไรก็ตามช่วงเวลาระหว่างการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความยาวเพิ่มขึ้นกับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความยาวลดลงนี้จะเหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละคนนั้นขึ้นอยู่กับอายุ เพศ ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของพื้นผิวที่ใช้ในการฝึก

หลักการฝึกพลัยโอเมตริก

การฝึกด้วยพลัยโอเมตริกเป็นการออกกำลังกายด้วยการไม่ใช้ออกซิเจนและมีการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดรวมทั้งมีแรงพยายามเกิดขึ้นทุกครั้งด้วย โดยการฝึกให้เส้นใยกล้ามเนื้อมี ขนาดใหญ่ขึ้นและเส้นประสาทมีการระดมที่ดีขึ้นส่งผลให้การตอบสนองเร็วขึ้น ซึ่ง เพียรชัย คำวงษ์ (2537) กล่าวว่า การจัดโปรแกรมการฝึกด้วยพลัยโอเมตริก ควรคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ความหนัก (Intensity) หมายถึงรูปแบบในการออกกำลังกาย เช่น กระโดดสองขาจะมีความหนักน้อยว่ากระโดดขาเดียว

2. ปริมาณ (Volume) เช่น การกระโดดจะนับจำนวนครั้งที่เท้าแตะพื้น

3. ความถี่ (Frequency) เป็นจำนวนครั้งของการออกกำลังกายและความถี่ในการฝึก

4. ระยะเวลาในการฟื้นตัว (Recovery) เป็นความเหมาะสมของช่วงเวลาทำงานและช่วงพักโดยใช้เวลาประมาณ 45-60 วินาที

การออกกำลังแบบพลัยโอเมตริกมีรากฐานมาจากความเชื่อที่ว่าการเหยียดออกอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวจะทำให้เกิดผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างแรงมากยิ่งขึ้นการที่กล้ามเนื้อเหยียดตัวออกเร็วเท่าไรก็ยิ่งมีการพัฒนาแรงหดตัวของกล้ามเนื้อเข้าทันทีทันใดมากยิ่งขึ้นเท่านั้น Huber (1987) ซึ่งมีความเห็นว่าการเพิ่มความแข็งแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการยืดของกล้ามเนื้อกระสวย (Muscle spindle) ซึ่งเกี่ยวข้องกับรีเฟล็กซ์ ไมโอเทติค (Myotatic reflex) และนำไปสู่การเพิ่มความถี่ของการกระตุ้นหน่วยยนต์ (Motor unit)

ชนินทร์ชัย (2544) ได้สรุปไว้ว่า ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ข้อควรพิจารณาก่อนการฝึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.1 อายุ เนื่องจากท่าฝึกพลัยโอเมตริกบางท่ามีความหนักอยู่ในระดับสูงและมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในส่วนของกระดูกที่กำลังเจริญเติบโต จึงมีข้อแนะนำว่านักกีฬาที่มีอายุต่ำกว่า 16 ปี จะต้องไม่ฝึกท่าที่มีความหนักอยู่ในระดับช็อค (Shock) ซึ่งเป็นระดับสูงสุด ซึ่งได้แก่ ท่าเด็พธ์จัมพ์ (Depth jumps)

1.2 น้ำหนักตัว ผู้ที่มีน้ำหนักเกิน 220.00 ปอนด์ ไม่ควรฝึกท่าเด็พธ์จัมพ์ (Depth jumps) จากความสูงเกิน 18.00 นิ้ว (45.72 ซม.)

1.3 อัตราส่วนของความแข็งแรง หมายถึง น้ำหนักที่ยกท่าแบกน้ำหนักย่อตัวได้มากที่สุดหารด้วยน้ำหนักตัวควรจะมีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 2.5 จึงจะเหมาะสมสำหรับการฝึกพลัยโอเมตริก ทั้งนี้ค่าของการฝึกแต่ละแบบจำต้องใช้อัตราส่วนของความแข็งแรงแตกต่างกันไป

1.4 โปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในปัจจุบัน ถ้าผู้ฝึกไม่ได้ฝึกในโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้ออยู่ในขณะนั้นจะต้องจัดให้ฝึกในโปรแกรมดังกล่าวเสียก่อนอย่างน้อย 2 - 4 สัปดาห์ ก่อนที่จะฝึกด้วยพลัยโอเมตริกเพื่อให้อัตราส่วนของความแข็งแรงอยู่ในระดับที่เหมาะสม

1.5 โปรแกรมการฝึกความเร็วในปัจจุบัน ถ้าผู้ฝึกไม่ได้ฝึกในโปรแกรมการฝึกความเร็วอยู่ในขณะนั้นจะต้องจัดให้ฝึกในโปรแกรมดังกล่าวเสียก่อนอย่างน้อย 2 - 4 สัปดาห์ ก่อนที่จะฝึกพลัยโอเมตริกเพื่อลดอัตราเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ

1.6 ประสบการณ์ ถ้าผู้ฝึกไม่มีประสบการณ์มาก่อนจะต้องเริ่มจากปริมาณของการฝึกที่มากกว่าปกติ และการฝึกที่น้อยกว่าปกติ และจะต้องค่อยๆพัฒนาการฝึกไปเรื่อย ๆ

1.7 การบาดเจ็บ บริเวณที่บาดเจ็บได้ง่าย ได้แก่ ข้อเท้า เท้า หน้าแข้ง เข่า สะโพก และหลังส่วนล่าง ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินการบาดเจ็บเพื่อหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นในตอนเริ่มต้นของโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก

1.8 พื้นผิวของสถานที่ฝึก พื้นผิวตามอุดมคติก็คือ พื้นแบบที่ใช้ในกีฬายิมนาสติกหรือพรมที่มีความยืดหยุ่นสามารถรองรับการกระแทกได้ดี และพื้นหญ้าก็อาจเป็นพื้นผิวตามอุดมคติได้

1.9 ข้อควรพิจารณาด้านความปลอดภัยในการฝึกพลัยโอเมตริกนั้นจะต้องเน้นให้ผู้ที่ฝึกปฏิบัติด้วยเทคนิคที่ถูกต้อง ซึ่งผู้ฝึกสอนจะต้องแนะนำ และแก้ไขให้ถูกต้อง ซึ่งถ้าผู้ฝึกสอนละเลยก็จะเกิดการบาดเจ็บได้ง่าย และต้องกำหนดโปรแกรมการฝึกได้อย่างเหมาะสม

ขั้นที่ 2 ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับโปรแกรมการฝึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 การอบอุ่นร่างกาย จะต้องมีการอบอุ่นร่างกายก่อนที่จะฝึกพลัยโอเมตริกเสมอ เพื่อป้องกันการบาดเจ็บและประสิทธิภาพในการฝึกจะเพิ่มขึ้น

2.2 ชนิดของกีฬา จะต้องเลือกท่าของการฝึกให้สัมพันธ์กับทิศทางของการเคลื่อนไหวของชนิดกีฬานั้น ๆ

2.3 ช่วงเวลาของการฝึก จะต้องจัดปริมาณและความหนักของการฝึกให้สอดคล้องกับช่วงของเวลาของการฝึกที่มีทั้งก่อนฤดูการแข่งขันในฤดูการแข่งขันและหลังฤดูแข่งขัน

2.4 ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึก จะใช้การฝึกพลัยโอเมตริกอยู่ในโปรแกรมการฝึกระหว่าง 6 - 10 สัปดาห์

2.5 ความถี่ของการฝึก โดยทั่วไปจะฝึก 1 - 3 ครั้งต่อสัปดาห์

2.6 ลำดับขั้นของความหนัก ความหนักของการฝึกขึ้นอยู่กับวงจรเหยียด-สั้น ซึ่งเป็นผลมาจากความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย ความเร็วพื้นราบ น้ำหนักตัว ความพยายามของแต่ละบุคคลและความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะเอาชนะความต้านทาน ในขณะที่ความหนัก ของการฝึกเพิ่มขึ้น

2.7 ลำดับขั้นของปริมาณ ตามปกติแล้วปริมาณของการฝึกจะนับจากจำนวนครั้งที่ส้นเท้าสัมผัสพื้นและระยะทางทั้งหมดในการฝึก ในขณะที่ความหนักของการฝึกเพิ่มขึ้นปริมาณของการฝึกต้องลดลง

2.8 เวลาพัก เนื่องจากการฝึกพลัยโอเมตริกนั้นจะใช้ความพยายามสูงสุดในแต่ละครั้งจึงต้องมีเวลาพักระหว่างการปฏิบัติแต่ละครั้ง เวลาพักระหว่าชุดให้เหมาะสม เช่น การฝึกท่าเดพ์จัมพ์อาจจะต้องพักระหว่างการปฏิบัติแต่ละครั้ง 15 - 30 วินาที และพักระหว่างชุด 3 - 4 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9 ความเมื่อยล้า จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เทคนิค และคุณภาพของการฝึกลดลงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บได้ ความเมื่อยล้านี้อาจเป็นผลมาจากการฝึกพลัยโอเมตริกที่ยาวนานหรือรวมกันกับโปรแกรมการฝึกแบบอื่น ๆ เช่น การวิ่ง หรือการฝึกด้วยน้ำหนัก

ขั้นที่ 3 ลักษณะของการเคลื่อนไหว

3.1 กระโดดขาเดียวหรือสองขาและจะจบด้วยขาเดียวหรือสองขา ได้แก่กระโดดอยู่กับที่ โดยปกติจะเป็นการกระโดดขึ้นในแนวดิ่ง ยืนกระโดด อาจจะเป็นแนวราบ ในแนวดิ่งหรือไปทางด้านข้าง

3.2 เขย่ง ขาเดียวหรือสองขา และจะจบด้วยขาเดียวหรือสองขา ในแนวราบที่มีเป้าหมายให้ได้ระยะทางมากที่สุดได้แก่ ระยะสั้น (10 ครั้งหรือน้อยกว่า) ระยะไกล (มากกว่า 10 ครั้ง)

3.3 ช็อค (Shock) เป็นพลัยโอเมตริก ที่ระบบประสาทต้องทำงานอย่างหนักและเกิดความเครียดที่กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นอย่างมาก ได้แก่ ท่าเด็พธ์จัมพ์ ซึ่งมีทั้งการเคลื่อนไหวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ

ขั้นที่ 4 ลำดับขั้นของความหนัก

4.1 กระโดดอยู่กับที่ เป็นท่าที่มีความหนักอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเน้นการกระโดดขึ้นในแนวดิ่งโดยการกระโดดขึ้นและลงสู่พื้นด้วยสองขา ได้แก่

กระโดดจากท่าย่อตัว

กระโดดกระตุกเข่าสองข้าง

กระโดดแตะปลายเท้า

กระโดดจากท่าย่อตัวแยกขา

กระโดดจากท่าย่อตัวแยกขาสลับกันไป

กระโดดข้ามกรวยหรือสิ่งกีดขวาง

บ็อกซ์จัมพ์

4.2 ยืนกระโดด เป็นท่าฝึกที่เน้นการกระโดดทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง โดยกระโดดแต่ละครั้งด้วยความพยายามเต็มที่ ในแต่ละชุดของการฝึก จะกระโดด 5 -10 ครั้ง ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยืนกระโดดไกล

ยืนเขย่งก้าวกระโดด

กระโดดข้ามกรวยหรือสิ่งกีดขวาง

4.3 กระโดดและเขย่ง เป็นท่าฝึกที่เน้นการกระโดดซ้ำๆ กันคล้ายกับการรวมกันระหว่างกระโดดอยู่กับที่และยืนกระโดดเข้าด้วยกัน ได้แก่

เขย่งสองขา

เขย่งขาเดียว

เขย่งข้ามรั้วหรือกรวย

เขย่งจากท่าย่อตัว

เขย่งก้าวกระโดดซ้ำ ๆ

4.4 เด็พธ์และบ็อกซ์จัมพ์ เป็นท่าฝึกที่เน้นการตอบสนองของรีเฟล็กซ์ยืด เนื่องจากต้องยืนอยู่บนกล่องที่สูงจากพื้น ซึ่งเมื่อกระโดดลงสู่พื้นจะทำให้ได้รับอิทธิพลจากแรงดึงดูดของโลกมากขึ้น ความสูงของกล่องจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูปร่างของนักกีฬาและจุดมุ่งหมายของโปรแกรมการฝึกในแต่ละช่วงของการฝึก ได้แก่ จัมพ์สองขา เด็พธ์จัมพ์ขาเดียว การฝึกด้วยบ็อกซ์ ได้แก่ การใช้สองขา ขาเดียว สลับขาและกระโดดคร่อม

4.5 กระโดดแนวราบ เป็นท่าฝึกท่าเน้นการเคลื่อนไหวในแนวราบด้วยความเร็วโดยปกติจะใช้ระยะทางมากกว่า 30 เมตร ได้แก่

กระโดดในแนวราบสลับขา

กระโดดในแนวราบผสมผสาน

กระโดดในแนวราบขาเดียว

กระโดดในแนวราบสองขา

ขั้นที่ 5 การออกแบบโปรแกรมการฝึกด้วยพลัยโอเมตริก มีองค์ประกอบที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

องค์ประกอบทางด้านร่างกาย ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว อัตราส่วนของความแข็งแรงโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อในปัจจุบัน โปรแกรมการฝึกความเร็วในปัจจุบัน ประสบการณ์ และการบาดเจ็บ

โดยพิจารณาจากรายละเอียดจากขั้นตอนที่ 1

องค์ประกอบทางด้านกีฬา ได้แก่ ชนิดของกีฬา ช่วงเวลาของการฝึก ความยาวของโปรแกรมการฝึก ความต้องการของเฉพาะกีฬานั้น ๆ

โดยพิจารณาจากรายละเอียดจากขั้นตอนที่ 1

องค์ประกอบด้านการกำหนดโปรแกรม ได้แก่ จำนวนวันที่ใช้ฝึกใน 1 สัปดาห์ อาจเป็น 1, 2, 3 หรือ 4 วัน วันที่ใช้ฝึก เช่น เป็นวันจันทร์หรือวันพฤหัสบดี ปริมาณของการฝึก หมายถึงจำนวนครั้งที่เท้าสัมผัสพื้น ความหนักของการฝึก และลำดับของการฝึก

สนธยา สีละมาด (2547) ได้สรุปไว้ว่าการฝึกซ้อมด้วยพลัยโอเมตริก คือการฝึกกล้ามเนื้อจะต้องทำให้มีการหดตัวอย่างเต็มแรงและรวดเร็วเมื่อมีการยืดยาวออกก่อนแล้วการยืดยาวออกก่อนอย่างรวดเร็ว จะทำให้มีการหดสั้นเข้าอย่างเต็มกำลังโดยการฝึกแบบพลัยโอเมตริกจะต้องเรียนรู้เทคนิคที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งและการลงสู่พื้นกล้ามเนื้อจะต้องมีการยืดยาวออกก่อน สิ่งสำคัญต้องแน่ใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ว่านักกีฬามีการงอขา (แขน) ในทางกลับกันการหดตัวสั้นเข้าควรเกิดขึ้นทันทีหลังจากมีการยืดยาวออก โดยการเคลื่อนไหวจากระยะยืดยาวออกจะต้องราบเรียบต่อเนื่อง และรวดเร็วที่สุด ซึ่งการฝึกซ้อมแบบพลัยโอเมตริกจะเป็นผลให้มีการถ่ายโอนความแข็งแรงไปสู่พลังระเบิด สอดคล้องกับ ชินวัฒน์ (2545) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกต่อการเพิ่มความเร็วในการออกตัวของนักวิ่งระยะสั้น และเปรียบเทียบพัฒนาการความเร็วในการยันเท้าออกจากที่ยันเท้าจากเท้าซ้ายและเท้าขวา ความเร็วในระยะทาง 30 เมตร โดยมีกลุ่มทดลองเป็นนักกรีฑาวิ่งระยะสั้นระดับเยาวชนที่มีอายุเฉลี่ย 16 ปี จำนวน 10 คน เป็นชาย 5 คน หญิง 5 คน ทำการฝึกด้วยโปรแกรมพลัยโอเมตริกที่แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นพื้นฐาน ขั้นทักษะ และขั้นก้าวหน้า เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ๆละ 4 วัน ผลการทดลอง พบว่า เวลาในการวิ่งระยะทาง 15 เมตรแรก ระยะทาง 15 เมตรหลัง และเวลารวม 30 เมตร ก่อนและหลังการฝึกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เวลาในการยันเท้าออกจากที่ยันเท้าจากเท้าซ้ายและเท้าขวาลดลงหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาที่พบว่าการฝึกพลัยโอเมตริกมีผลต่อการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อและความสามารถในการเร่งความเร็วอีกด้วย (Herrero et al., 2006; Meylan and Malatesta, 2009; Chelly et al., 2010)

จากการศึกษาสรุปได้ว่าพลัยโอเมตริกคือ การออกกำลังกายหรือการฝึกบริหารร่างกายที่รวมไว้ ซึ่งกำลัง ความแข็งแรง และความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน โดยอาศัยรูปแบบการออกกำลังกายในลักษณะการกระโดดและเขย่ง สามารถฝึกเพื่อพัฒนาความเร็วโดยมีการประสานกันระหว่างความแข็งแรงและกำลังของกล้ามเนื้อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเร็วสามารถได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นด้วยการจัดโปรแกรมพลัยโอเมตริกเข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกพัฒนาความเร็ว สอดคล้องกับ เจริญ (2538) ที่กล่าวว่า มีนักกีฬาจำนวนไม่น้อยที่มีกำลังความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสูงสุด แต่ไม่สามารถนำมาใช้เกิดประโยชน์ในรูปแบบของความเร็วในการวิ่งระยะ 30-40 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการฝึกเพิ่มประสิทธิภาพกล้ามเนื้อด้วยวิธีเขย่งและกระโดด จึงได้ถูกกำหนดเข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อช่วยพัฒนาเสริมสร้างกำลังความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวที่จำเป็นต้องใช้ความสัมพันธ์และพลังความเร็วสูงสุดในช่วงสั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. ทฤษฎีและหลักในการฝึกด้วยแรงต้านทานในนักกีฬาระดับเยาวชน

การฝึกด้วยแรงต้านทานในนักกีฬาระดับเยาวชน (Youth resistance training)

การฝึกความแข็งแรงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการพัฒนาศักยภาพนักกีฬาในวัยเด็ก อย่างไรก็ตามยังมีผู้ฝึกสอนที่มีความกังวลว่าการฝึกด้วยแรงต้านทานจะมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในนักกีฬาได้ ทั้งนี้ในรายงานของ Jacobson and Kulling (1989) พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านทานไม่ส่งผลต่อความเสียหายของกระดูกรวมถึงกระดูกส่วนปลาย (Epiphyses) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตและกล้ามเนื้อ ซึ่งผู้ฝึกสอนจะต้องออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมอย่างระมัดระวังให้สอดคล้องกับอายุหรือลักษณะของกีฬาชนิดนั้น ๆ (Bompa and Buzzichelli, 2015; Faigenbaum, 2000) โดยก่อนที่นักกีฬาจะเข้ารับการฝึกซ้อมตามแนวทางการฝึกที่เหมาะสมจะต้องมีความพร้อมทางร่างกายและจิตใจ เข้าใจเทคนิคที่ถูกต้อง ตลอดจนควรตระหนักถึงปัจจัยด้านความปลอดภัย เทคนิคการช่วยเหลือขณะยกน้ำหนักและวิธีการใช้อุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ ด้วย

การพัฒนานักกีฬาในแต่ละช่วงวัย

ผู้ฝึกสอนควรพิจารณาถึงปัจจัยหลักที่มีความจำเป็นในการฝึกซ้อมต่อไปนี้

1. อายุพัฒนาการและอายุตามปีเกิด โดยเฉพาะเด็กและผู้ฝึกหัดใหม่ที่ร่างกายยังไม่ก้าวขึ้นไปสู่การเจริญเติบโตสูงสุด การฝึกซ้อมจะต้องแยกออกจากวัยผู้ใหญ่ โดยใช้การฝึกซ้อมที่มุ่งมั่นพัฒนาหลายด้าน (Multilateral) นอกจากนี้การฝึกซ้อมความแข็งแรงและปัจจัยทางด้านการเจริญเติบโตในช่วงวัยก่อนวัยรุ่น ด้วยความหนักของการฝึกซ้อมที่เท่ากันนักกีฬาที่มีอายุน้อยกว่าจะมีกระบวนการเผาผลาญอาหารและการฟื้นคืนสภาพจากการฝึกซ้อมเร็วกว่านักกีฬาที่มีอายุมากกว่า

2. ประสบการณ์หรืออายุเมื่อเริ่มเข้าสู่การกีฬา นักกีฬาที่มีอายุการฝึกซ้อมมากกว่าจะมีความต้องการและความทนทานต่อความหนักของการฝึกซ้อมได้สูงกว่านักกีฬาวัยเยาว์หรือนักกีฬาหัดใหม่ นักกีฬาแต่ละคนมีระดับสมรรถภาพทางกายและประสบการณ์ในการฝึกซ้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งระยะเวลาของการฝึกซ้อมย่อมส่งผลต่อศักยภาพของนักกีฬา ดังนั้นอายุการฝึกซ้อม (Training age) จึงควรเป็นปัจจัยที่ผู้ฝึกสอนต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ความสำคัญของอายุทางชีวภาพ (Biological age) อายุการฝึกซ้อม (Training age) และอายุจริงตามปฏิทิน (Chronological age) มีความสัมพันธ์ในลักษณะที่แตกต่างกันไป เช่น ในนักกีฬาที่มีอายุจริงตามปฏิทินเท่ากันแต่มีความสามารถในการฝึกซ้อมและสมรรถนะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างแรกดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Chronological age	Biological age	Training age
11	9	1
11	13	3

หรือเมื่อนักกีฬาที่มีอายุจริงตามปฏิทินแตกต่างกันแต่มีความสามารถในการฝึกซ้อมและสมรรถนะเท่ากัน ดังแสดงดังตัวอย่างที่ 2

Chronological age	Biological age	Training age
12	13	2
15	13	2

อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ 2 นั้นแม้ว่านักกีฬาจะมีความสามารถในการฝึกซ้อมและสมรรถนะเท่ากันแต่การตอบสนองต่อร่างกายของนักกีฬาแต่ละเฉพาะบุคคลอาจมีความแตกต่างกัน

3. ความแตกต่างระหว่างเพศ มีบทบาทสำคัญในการวางแผนการฝึกให้กับนักกีฬา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาวัยแรกรุ่น ตัวอย่างเช่น สรีระและโครงสร้างของร่างกาย เพศชายจะมีความแข็งแรงมากกว่าเพศหญิง และด้วยโครงสร้างและขนาดของสะโพกในเพศหญิงที่มีลักษณะเฉพาะจึงต้องพัฒนากล้ามเนื้อหน้าท้องอย่างเหมาะสมมากกว่าเพศชาย ขณะที่การมีรอบเดือน (Menstruation cycle) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในร่างกายซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับสภาพจิตใจและสมรรถนะของนักกีฬา

4. ความต้องการการฝึกซ้อม (Training needs) การกำหนดการฝึกซ้อมสมรรถภาพควรมีพื้นฐานอยู่บนการทราบจุดแข็งและจุดอ่อนของสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาแต่ละคน สำหรับกีฬาประเภททีมนักกีฬาควรมีโปรแกรมการฝึกซ้อมเฉพาะบุคคล ซึ่งไม่เพียงแต่การพิจารณาทางด้านสมรรถภาพเพียงอย่างเดียวแต่ยังควรรวมถึงการยอมให้นักกีฬาแต่ละคนเลือกตำแหน่งการเล่นที่เหมาะสมตามความถนัดของตนเองด้วย

ในรายงานการศึกษาของสหพันธ์กรีฑานานาชาติ (IAAF) โดย Shiffer (2008) ได้แบ่งลักษณะกิจกรรมในการฝึกในแต่ละช่วงอายุที่จะมีความแตกต่างต่างกัน ดังนี้

1. ระยะพื้นฐาน (The Fundamental phase) คือช่วงอายุ 8-12 ปี จะเน้นเรื่องของการฝึกการเคลื่อนไหวพื้นฐานมากกว่าการฝึกในเรื่องของเทคนิค กิจกรรมมีความสนุกสนาน

2. ระยะฝึกเพื่อการฝึกซ้อม (The training to train phase) คือช่วงอายุ 13-16 ปี เริ่มมีการฝึกทักษะเบื้องต้นตามแต่ชนิดกีฬา ในระยะนี้ยังคงเน้นกิจกรรมที่มีความสนุกสนาน ทักษะไม่ซับซ้อน เรียนรู้กระบวนการจากสถานการณ์จริงและสร้างความเข้าใจในชนิดกีฬานั้น ๆ

3. ระยะฝึกเพื่อชัยชนะ (The training to win phase) คือช่วงอายุ 21-24 ปี จะเพิ่มความยากในการฝึกทักษะเฉพาะและฝึกอย่างเต็มรูปแบบ อีกทั้งสามารถที่จะได้รับการฝึกอย่างหนักได้

การปรับตัวทางสรีรวิทยาของระบบกล้ามเนื้อหลังจากการฝึกด้วยแรงต้านทาน

แม้ว่าบรรดานักกีฬาเยาวชนหรือผู้ฝึกสอนมีความกังวลเกี่ยวกับการบาดเจ็บ และปัญหาเกี่ยวกับความเสียหายของแผ่นการเจริญเติบโต (Growth plate) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการฝึกด้วยแรงต้านในนักกีฬาเด็กนั้นมีประโยชน์ส่งผลดีต่อความแข็งแรงของตัวนักกีฬาเอง (Behm et al., 2008; Faigenbaum et al., 2009; Behringer, 2010) จะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านทาน (Resistance training) มีอิทธิพลต่อการปรับตัวของระบบกล้ามเนื้อทั้งด้านโครงสร้างและหน้าที่ เช่น ทำให้ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น มีมวลของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น หรือมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เป็นต้น นอกจากนี้ความแข็งแรงยังสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (Cross-sectional area) ซึ่งหากได้รับการฝึกจะทำให้มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มมากขึ้น (Ramsay et al., 1990; Mersmann, 2017) โดยขึ้นอยู่กับว่านักกีฬาได้รับการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อประเภทใด

จะเห็นได้ว่าในนักกีฬาเด็กและเยาวชนนั้นเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกายและอารมณ์เป็นอย่างมาก มีการพัฒนาการของฮอร์โมน มีการเจริญเติบโตของโครงสร้างอวัยวะต่าง ๆ ทั้งนี้หากได้รับการฝึกซ้อมที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้มีการเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ นักกีฬาเยาวชนหลายคนล้มเหลวในการที่จะพัฒนาศักยภาพของตัวเองให้ถึงระดับสูงสุด เนื่องจากมีการแข่งขันและฝึกซ้อมที่หนักเกินไป ดังนั้นการจัดรูปแบบการฝึกซ้อมที่ถูกต้องเหมาะสม มีการควบคุมดูแลที่ดี สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของอายุ ทั้งนี้ผู้ฝึกสอนควรทำความเข้าใจให้ชัดเจนในกระบวนการการฝึกซ้อม จึงจะทำให้การพัฒนาการของเด็กเป็นไปตามวัย พร้อมที่จะรับการฝึกที่หนักขึ้นต่อไปในระดับที่สูงขึ้นและเป็นรากฐานสำคัญที่จะทำให้มีความสามารถทางกีฬาที่ดีในอนาคต

โปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสำหรับเด็กควรได้รับการออกแบบมาอย่างดีและมีแนวทางการฝึกซ้อมในระยะยาว นักกีฬาสามารถป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นและมีความปลอดภัย มีข้อแนะนำดังนี้ (Bompa and Carrera, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) ใช้โปรแกรมการฝึกความแข็งแกร่งที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการบาดเจ็บ

2) การสอนของผู้ฝึกสอนที่ไม่ถูกต้อง มีระดับความหนักสูงและขาดความก้าวหน้าของปริมาณและความหนักในการฝึกซ้อม อาจส่งผลให้นักกีฬาได้รับบาดเจ็บได้

3) เริ่มต้นโปรแกรมการฝึกซ้อม ด้วยการอบอุ่นร่างกาย 10-15 นาที

4) ควรฝึกกล้ามเนื้อให้ครอบคลุมทุกส่วนของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว

5) นักกีฬาควรเข้าใจขั้นตอนและเทคนิคในการยกน้ำหนักอย่างชัดเจน

6) ใช้ระยะเวลาในการฝึกความแข็งแรง 6-8 สัปดาห์ และเลือกท่าออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนไหวหลายข้อต่อ เช่นท่า bench press squat หรือ leg press เป็นต้น

6. แนวคิด ทฤษฎี และหลักในการฝึกเชิงซ้อน

การผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการฝึกพลัยโอเมตริกเข้าด้วยกันหรือการฝึกเชิงซ้อนนั้นเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อของนักกีฬา (Ebben and Watt,1998 ; Carter and Greenwood, 2014; Chu,1996)

จะเห็นได้ว่าในร่างกายมนุษย์นั้นมีทั้งเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วและหดตัวได้ช้า โดยเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้ช้าจะเรียกว่า “Type I” ซึ่งสามารถหดตัวได้เป็นระยะเวลานานต่อเนื่อง เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงานแบบใช้ออกซิเจน มักจะมีมากในนักกีฬาที่ต้องแข่งขันเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน เช่น การวิ่งระยะไกล เป็นต้น ส่วนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วนั้น แบ่งออกเป็นชนิด “Type IIa” และชนิด“Type IIb” ซึ่งสามารถออกแรงสูงสุดได้ในระยะเวลาอันสั้น เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงานแบบใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังของกล้ามเนื้อ โดยมักพบในนักกีฬาฟุตบอล หรือนักวิ่งระยะสั้น เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วทั้งสองชนิดนี้ก็คือ ชนิด Type IIa มีความอดทนในการหดตัวมากกว่า ในขณะที่ชนิด Type IIb มีความเร็วในการหดตัวมากกว่า ในกีฬาหลายชนิดที่เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด หดตัวเร็วทั้งสองชนิดถูกใช้งาน ซึ่งชนิด Type IIb จะหดตัวก่อน เมื่อเกิดความเมื่อยล้าแล้วชนิด Type IIa ก็จะหดตัวแทนต่อไป นอกจากนั้นยังมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด “Type IIc” ซึ่งสามารถพัฒนาให้ทำงานได้ทั้งแบบเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วและแบบเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้ช้าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการฝึก

อย่างไรก็ตามในการฝึกเชิงซ้อนนั้น เป้าหมายหลักของนักกีฬาประเภทที่ใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังของกล้ามเนื้อก็คือ เน้นการฝึกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIb เป็นสำคัญ และให้เส้นใย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อชนิด IIc ได้พัฒนาทำงานแบบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIb แม้ว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIa จะเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วแต่ก็มักจะไม่ค่อยมีประโยชน์ต่อกีฬาบางชนิด เช่น นักยกน้ำหนัก และนักเพาะกาย ซึ่งได้ทำการฝึกเพื่อพัฒนาเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIa เป็นอย่างมากแต่ก็ไม่สามารถที่จะแสดงความแข็งแรงที่เกิดขึ้นมานั้นในลักษณะของการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วได้ อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring ซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับแรกของนักวิ่งระยะสั้น โดยกลุ่มกล้ามเนื้อนี้จะประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIb เป็นส่วนใหญ่

Chu (1996) ได้เสนอแนะกระบวนการ 2 ขั้นของการฝึกเชิงซ้อน (Complex training) ซึ่งแต่ละขั้นมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เป็นการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้ความหนักระดับสูง ซึ่งเป็นการฝึกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIb และให้เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIc ได้ทำงานแบบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIb

ขั้นที่ 2 เป็นการฝึกกล้ามเนื้อได้ทำงานด้วยความเร็วที่สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นการฝึกด้วยแรงต้านในแต่ละชุดแล้ว จึงใช้การฝึกพลัยโอเมตริกทันที ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวแบบแรงระเบิด โดยใช้ท่าที่เสมอเหมือนกับท่าของการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อการกระตุ้นกล้ามเนื้อในขั้นแรกแล้ว

สอดคล้องกับ Allerheiligan (1994) ที่เสนอการฝึกเชิงซ้อนสำหรับนักกรีฑาซึ่งทำการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงก่อนแล้วตามด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยเช่นกัน การฝึกเชิงซ้อนนั้นต้องฝึกด้วยแรงต้านก่อนเพื่อเพิ่มการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อให้มีการระดมหน่วยยนต์ได้เป็นจำนวนมากแล้วตามด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกในทันที โดยการฝึกดังกล่าวนี้ใช้เวลาพักหลังจากสิ้นสุดการฝึกด้วยแรงต้านแล้วตามด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกในทันทีภายในระยะเวลา 30 วินาที เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วมาทำงานเป็นส่วนใหญ่ (Ebben and Watt,1998) จะเห็นได้ว่าการฝึกเชิงซ้อนจะนำไปสู่การพัฒนาความสามารถของการตอบสนอง (Reactive ability) ของระบบประสาทกล้ามเนื้อจากการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว ซึ่งผลจากการฝึกจะทำให้กล้ามเนื้อมีความไวต่อการกระตุ้น (Excitability) ของระบบประสาทส่วนกลาง (The central nervous system) เพิ่มมากขึ้น (Verkhoshansky, 1986) รวมทั้ง Chu (1996) ที่ได้ให้ความเห็นว่ากลไกในการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดจากการฝึกเชิงซ้อนคือระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ซึ่งการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้ความหนักในระดับสูงจะเพิ่มการกระตุ้นและเสริม Reflex potentiation ซึ่งจะเกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการฝึกพลัยโอเมตริกตามมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ebben and Watt (1998) กล่าวว่า ปัจจุบันนี้ยังเป็นการยากในการให้คำอธิบายที่เชื่อถือได้ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดจากการฝึกเชิงซ้อน ในทางทฤษฎีนั้น มีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยานี้ ได้แก่

-ประสาทกล้ามเนื้อ

-ฮอร์โมน

-การเผาผลาญอาหาร

-การสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ

-การเรียนรู้ทางกลไก

นอกจากนี้ Ebben and Watt (1998) ยังได้สรุปข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการฝึกเชิงซ้อนจากนักวิชาการและนักวิจัยที่ได้การศึกษาและกล่าวไว้ดังนี้

1) การฝึกเชิงซ้อน เป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องจัดไว้ในโปรแกรมการฝึกซ้อมซึ่งนักกีฬาจะต้องมีความแข็งแรงพื้นฐานโดยการฝึกด้วยแรงต้านมาก่อน และควรจะใช้การฝึกพลัยโอเมตริก โดยใช้ความหนักในระดับต่ำควบคู่ไปด้วยในระยะเตรียม และเริ่มมีการจับคู่ท่าฝึกของการฝึกด้วยแรงต้านกับการฝึกพลัยโอเมตริกมาฝึกในลักษณะการฝึกเชิงซ้อนได้ตั้งแต่ระยะก่อนการแข่งขันแล้วค่อย ๆ ปรับกิจกรรมของการเคลื่อนไหวในการฝึกเชิงซ้อนให้เหมือนกับการเคลื่อนไหวจริงในการแข่งขัน อีกทั้งยังประหยัดเวลาและเพิ่มความหลากหลายของการฝึกในระยะแข่งขันอีกด้วย

2) ความหนักและปริมาณของการฝึกที่ใช้ในการฝึกเชิงซ้อนนั้นจำเป็นต้องใช้ความหนักในระดับสูงทั้งการฝึกด้วยแรงต้านและการฝึกพลัยโอเมตริกในปริมาณที่ไม่มากเพื่อป้องกันความเมื่อยล้าที่มากเกินไปจนนักกีฬาไม่สามารถมุ่งความสนใจไปยังกิจกรรมการฝึกได้ โดยจำนวนชุดในการฝึกด้วยแรงต้านควรอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 ชุด ภายในชุดทำการยกจำนวน 2-8 ครั้ง และการฝึกพลัยโอเมตริก 5-15 ครั้ง

3) การเลือกท่าฝึกที่นำมาใช้ในการฝึกเชิงซ้อน ควรคำนึงถึงหลักการทางด้านชีวกลศาสตร์และความเร็วในการเคลื่อนไหวที่ต้องการในแต่ละชนิด ซึ่งท่าฝึกของการฝึกด้วยแรงต้านนั้นควรเป็นท่าที่ใช้หลายข้อต่อด้วยกันหรือคล้ายคลึงกับท่าทางของชนิดกีฬาที่ฝึกนั้น และตามด้วยท่าฝึกของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีการเคลื่อนไหวในลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ควรคำนึงถึงท่าออกกำลังกายที่ใช้การออกแรงทีละข้าง (Unilateral exercise) ร่วมด้วยเพราะสามารถการสร้างสมดุลความแข็งแรงของร่างกายรวมทั้งการสั่งการของระบบประสาทร่วมด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) ความถี่ของการฝึกและเวลาพักระหว่างการฝึกเชิงซ้อน โดยทั่วไปแล้วสามารถทำการฝึกเชิงซ้อน 1-3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยมีระยะเวลาพักระหว่างการฝึกแต่ละครั้ง 48-96 ชั่วโมง สำหรับการพักกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกนั้นเป็นการป้องกันปัญหาที่เกิดจากการฝึกด้วยแรงต้านในวันแรก แล้วตามด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกที่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้อที่เหมือนกันในวันถัดไป ดังนั้นกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกนั้นจึงมีเวลาพักที่เพียงพอ การฝึกเชิงซ้อนในระยะก่อนการแข่งขันมีการฝึก 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์และเมื่อถึงระยะแข่งขันก็จะลดลงเหลือ 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยการใช้ความหนักในระดับสูงและปริมาณที่ไม่มาก

5) ลำดับของท่าในการฝึกเชิงซ้อนที่เริ่มจากการฝึกด้วยแรงต้านก่อนนั้นก็เพื่อกระตุ้นระบบประสาทให้มีการระดมหน่วยยนต์จำนวนมาก และเมื่อตามด้วยการฝึกพลัยโอเมติกทันทีก็จะทำให้เกิดพลังกล้ามเนื้อมาก ทั้งที่การฝึกเชิงซ้อนที่ใช้หลายข้อต่อด้วยกันนี้ควรจะจัดให้มีการฝึกก่อนกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้แน่ใจว่านักกีฬาได้ฝึกในกิจกรรมที่อยู่ในระดับความหนักที่ต้องการจริง ๆ

6) ระยะเวลาในการพัก การพักหลังจากการฝึกด้วยแรงต้านนั้นควรพักในระยะเวลาไม่เกิน 30 วินาที แล้วตามด้วยการฝึกพลัยโอเมตริกทันที เพื่อใช้ประโยชน์จากการระดมหน่วยยนต์จำนวนมากและเมื่อจบการฝึก 1 ชุดในลักษณะของการฝึกเชิงซ้อนแล้วควรใช้เวลาพัก 2-10 นาที ก่อนที่จะปฏิบัติในชุดต่อไป ซึ่งระยะเวลาการพักที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ร่างกายนั้นได้ฟื้นคืนพลังงานให้สามารถปฏิบัติทักษะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Chu (1996) ได้เสนอแนะให้แบ่งระยะเวลาของการฝึกเชิงซ้อนออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

1. ระยะเตรียม (Preparation phase) ใช้เวลา 2-6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	ฝึกด้วยน้ำหนัก	*ฝึกพลัยโอเมตริก*
ความหนัก	60-70% ของ 1RM	พลัยโอเมตริกระดับที่ 1
จำนวนครั้ง	10-15 ครั้ง	10-12 ครั้ง
จำนวนชุด	2-4 ชุด	2-3 ชุด

2. ระยะก่อนการแข่งขัน (Precompetition phase) ใช้เวลา 8-12 สัปดาห์

<u>ระยะแรก</u>

	ฝึกด้วยน้ำหนัก	*ฝึกพลัยโอเมตริก*
ความหนัก	70-85% ของ 1RM	พลัยโอเมตริกระดับที่ 1
จำนวนครั้ง	6-10 ครั้ง	10-12 ครั้ง
จำนวนชุด	3 ชุด	2-3 ชุด

<u>ระยะหลัง</u>

	ฝึกด้วยน้ำหนัก	*ฝึกพลัยโอเมตริก*
ความหนัก	70-85% ของ 1RM	พลัยโอเมตริกระดับที่ 1
จำนวนครั้ง	4-6 ครั้ง	5-10 ครั้ง
จำนวนชุด	4 ชุด	4 ชุด

3. ระยะแข่งขัน (Competition phase) ใช้เวลา 4 สัปดาห์

	ฝึกด้วยน้ำหนัก	*ฝึกพลัยโอเมตริก*
ความหนัก	80-100% ของ 1RM	พลัยโอเมตริกระดับที่ 2
จำนวนครั้ง	1-3 ครั้ง	5-6 ครั้ง
จำนวนชุด	3-5 ชุด	3-5 ชุด

7. กลุ่มของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว

Bompa (1993) ได้สรุปว่านักกีฬาจำเป็นต้องมีการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อของตนเพื่อใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ของการแข่งขัน สำหรับการวิ่งระยะสั้นนั้นนักวิ่งจะต้องพัฒนาพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นออกวิ่ง (Starting power) และพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว (Acceleration power) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะออกแรงได้อย่างรวดเร็วซึ่งมีพื้นฐานมาจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch fiber) ด้วยกันทั้งสิ้น พลังกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความยาวของช่วงก้าวในการวิ่ง (Stride length) และความถี่ในการก้าว (Stride frequency) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป้าหมายหลักของการฝึกความเร็วที่แท้จริง ก็คือการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่หดตัวได้เร็วซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับความเร็วให้สามารถทำงานตามรูปแบบที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Weineck (1990) ได้สรุปผลจากการวิเคราะห์กล้ามเนื้อว่ากลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกมีกล้ามเนื้อ Gluteus maximus เป็นกล้ามเนื้อมัดหนึ่งที่แข็งแรงที่สุดในร่างกาย มีหน้าที่หลักคือการเหยียดสะโพก ได้แก่ ในขณะที่ยกตัวขึ้นสู่ท่ายืนปกติจากท่าย่อตัวในขณะวิ่ง และในขณะกระโดด กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามีกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris เป็นกล้ามเนื้อที่ใหญ่ที่สุดและแข็งแรงที่สุดในร่างกายมีหน้าที่หลัก คือการเหยียดเข่า ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ Rectus Femoris กล้ามเนื้อ Vastus medialis กล้ามเนื้อ Vastus lateralis และกล้ามเนื้อ Vastus intermedius

โดยที่กล้ามเนื้อ Rectus femoris ประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วเป็นส่วนใหญ่ และนอกจากจะทำหน้าที่เหยียดเข่าแล้ว ยังทำหน้าที่งอสะโพกอีกด้วย ส่วนกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้านั้นมีกล้ามเนื้อ Gastrocnemius เป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วเป็นส่วนใหญ่มีหน้าที่หลักคือ การเหยียดข้อเท้าเพื่อยกเท้าให้พ้นพื้น ได้แก่ ในขณะวิ่งและในขณะกระโดด

ทำให้ได้ข้อสรุปว่า ในการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็วของนักวิ่งนั้นจะต้องพัฒนาพลังกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้าซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหล่านี้จะต้องใช้ความหนักในระดับที่สามารถระดมเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วมาทำงานได้

Hedrick and Anderson (1996) ได้แนะนำการเลือกท่าฝึกที่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ได้แก่ ท่าแบกน้ำหนักย่อตัว (Squat) ส่วนท่าฝึกที่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า ได้แก่ท่าคลีน (Clean) สอดคล้องกับ Young et al. (2001) ที่ได้กล่าวเกี่ยวกับการใช้กลุ่มของกล้ามเนื้อไว้ว่าในขณะเร่งความเร็วกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ Quadriceps femoris ซึ่งทำหน้าที่เหยียดเข่าโดยกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris จะมีบทบาทมากใน 5 เมตรแรกของการเร่งความเร็วจากจุดหยุดนิ่ง เพราะมุมของเข่าในขณะเท้าสัมผัสพื้นแคบกว่าการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด และจะลดบทบาทลงเมื่อวิ่งไปถึงจุด 30 เมตรเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อ Gluteus maximus ที่ค่อยๆ ลดบทบาทลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กล้ามเนื้อที่มีความสำคัญรองลงมาคือกล้ามเนื้อ Gastrocnemius ซึ่งทำหน้าที่เหยียดข้อเท้า ส่วนกล้ามเนื้อ Hamstrings ซึ่งทำหน้าที่ช่วยเหยียดสะโพกก็มีบทบาทน้อย และค่อยๆลดบทบาทลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ทั้งนี้ยังคงทำหน้าที่งอเข่าตามปกติ

เจริญ (2538) กล่าวว่า ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อในร่างกายทุกคนประกอบด้วย เส้นใย 2 ชนิดคือ เส้นใยกล้ามเนื้อขาว (White fiber) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast-twist fiber) และเส้นใยกล้ามเนื้อแดง (Red fiber) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Slow-twist fiber) โดยในการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วจำเป็นต้องอาศัยเส้นใยกล้ามเนื้อขาวเป็นตัวออกแรงในการทำงาน ในกรณีที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดใดชนิดหนึ่งมากกว่าอีกชนิดหนึ่ง ประสิทธิภาพใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเคลื่อนไหวของร่างกายย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนั้น เช่น ถ้าหากขามีเส้นใยกล้ามเนื้อขาวมากกว่าที่แขน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขาสามารถเคลื่อนไหวได้เร็วกว่าแขน และ นักกีฬาคนใดที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อขาวที่ขามากกว่าจะสามารถวิ่งระยะสั้นได้ดีแต่ถ้ามีเส้นใยกล้ามเนื้อแดงมากก็เหมาะสมที่จะเป็นนักวิ่งระยะไกลที่ดีได้

8. องค์ประกอบและความสำคัญของพลังกล้ามเนื้อ

พลังกล้ามเนื้อนับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่นักกีฬาควรตระหนักและได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการแข่งขันโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิ่งระยะสั้น Bompa (1993) ได้อธิบายสรุปรูปแบบของพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการแข่งขันของกีฬาไว้ดังนี้

1. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการลงสู่พื้นและเปลี่ยนทิศทาง (Landing/Reactive power)

ในการแข่งขันกีฬาหลายชนิดนั้น ทักษะในการลงสู่พื้นเป็นทักษะที่สำคัญอย่างหนึ่งและมักจะต่อเนื่องกับทักษะของการเปลี่ยนทิศทางหรือการกระโดด นักกีฬาจำเป็นต้องใช้พลังกล้ามเนื้อในการควบคุมร่างกายในขณะลงสู่พื้น และสามารถที่จะปฏิบัติทักษะที่ตามมานั้นได้อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนทิศทางหรือการกระโดดก็ตาม พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการควบคุมร่างกายและลดแรงกระแทกในขณะลงสู่พื้น การตกลงสู่พื้นจะมีความสัมพันธ์กับความสูง 80-100 เซนติเมตรนั้น ข้อเท้าจะต้องรับน้ำหนักประมาณ 6-8 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งในขณะที่ตกลงสู่พื้นกล้ามเนื้อจะหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้น (Eccentric contraction) นักกีฬาที่ได้รับการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อมาอย่างดีแล้วก็จะสามารถควบคุมร่างกายและลดแรงกระแทกในขณะตกลงสู่พื้นได้ ซึ่งกล้ามเนื้อจะหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นถ้ามีการกระโดดขึ้นในทันทีหรือมีการเปลี่ยนทิศทาง กล้ามเนื้อมัดนั้นจะหดตัวแบบความยาวลดลง (Concentric contraction) สถานการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในการแข่งขันกีฬาประเภททีมชนิดต่าง ๆ และกีฬาที่ใช้แร็กเกต (Racket)

2. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทุ่ม –พุ่ง-ขว้าง (Throwing power)

ในการแข่งขันกีฬาหลายชนิดที่ต้องมีการทุ่ม –พุ่ง-ขว้าง อุปกรณ์กีฬาแต่ละชนิดนั้นต้องการพลังกล้ามเนื้อเพื่อที่จะสร้างความเร็วต้นให้กับอุปกรณ์กีฬาเหล่านั้นให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชนิดกีฬาที่จะต้องปล่อยอุปกรณ์ออกไปจากมือเพื่อให้ได้ระยะทางที่มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการกระโดดขึ้นจากพื้น (Take-off power)

ในการแข่งขันกีฬาหลายชนิดที่มีการกระโดดนั้น ต้องการพลังกล้ามเนื้อในลักษณะแรงระเบิด (Explosive) เพื่อให้ประสิทธิภาพของการกระโดดดีที่สุด อาจเป็นการกระโดดในขณะที่วิ่งมาด้วยความเร็วสูงหรือมีการย่อตัวก่อนที่จะกระโดดขึ้นไป ซึ่งถ้ายิ่งย่อตัวลงมากก็จะต้องมีพลังกล้ามเนื้อมากเพื่อที่จะออกแรงยกตัวลอยขึ้นจากพื้นได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้านักกีฬามีพลังกล้ามเนื้อไม่มากพอก็จะทำให้การกระโดดนั้นช้าลงและมีผลให้ประสิทธิภาพของการกระโดดลดลงด้วย

4. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นเคลื่อนที่ (Starting power)

ในการแข่งขันกีฬาหลายชนิดที่ความเร็วต้นของการเคลื่อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่นั้น ๆ สถานการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในการแข่งขันที่มีการต่อสู้ การออกอาวุธได้เร็วกว่าย่อมได้เปรียบคู่ต่อสู้รวมทั้งการเริ่มต้นวิ่งออกจากที่ยันเท้าของนักวิ่งระยะสั้น ผู้ที่มีพลังกล้ามเนื้อมากกว่าก็จะเริ่มต้นวิ่งได้เร็วกว่า

5. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการชะลอความเร็ว (Deceleration power)

ในการแข่งขันกีฬาประเภททีมชนิดต่าง ๆ และกีฬาที่ใช้แร็กเกต ที่มีการหลอกล่อคู่ต่อสู้หรือมีการชะลอความเร็วสลับกับการเร่งความเร็วหรือมีการชะลอความเร็วแล้วเปลี่ยนทิศทางต้องการพลังกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก ซึ่งกล้ามเนื้อจะหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้นเพื่อรับแรงกระแทกจากการวิ่ง จำเป็นต้องมีพลังกล้ามเนื้อมากพอ ซึ่งการเคลื่อนไหวในลักษณะนี้จะเกิดการบาดเจ็บกล้ามเนื้อได้ง่าย

6. พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว (Acceleration power)

ในการแข่งขันกีฬาประเภททีมและกีฬาประเภทบุคคลชนิดต่าง ๆ ทั้งที่แข่งขันกันบนบกและในน้ำ ต่างก็มีสถานการณ์ในการเร่งความเร็วด้วยกันทั้งสิ้น พลังกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการขับเคลื่อนร่างกายไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วหรือสามารถเอาชนะแรงต้านทานของน้ำได้

โดยในการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อซึ่งได้รับจากการฝึกนั้นมีผลจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่ทำให้กล้ามเนื้อสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1) ระยะเวลาในการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) เซลล์ประสาทยนต์ (Motor neurons) มีความทนทานเพิ่มขึ้นในการเพิ่มความถี่ของการปล่อยกระแสประสาท

3) หน่วยยนต์ (Motor units) มีความสอดคล้องกันมากขึ้นและดีขึ้น กับรูปแบบของการปล่อยกระแสประสาท

4) กล้ามเนื้อทำงานโดยใช้จำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อมากขึ้นในเวลาสั้น

5) มีการพัฒนาการทำงานประสานกันภายในกล้ามเนื้อ (Intramuscular coordination) หรือมีการทำงานประสานกันมากขึ้นระหว่างปฏิกิริยาเร่งการทำงานของกล้ามเนื้อ (Excitatory reaction) กับปฏิกิริยายับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อ (Inhibitory reaction) ซึ่งเกิดจากการเรียนรู้ของระบบประสาท

6) มีการพัฒนาการทำงานประสานกันระหว่างกล้ามเนื้อที่ร่วมกันทำงาน (Intermuscular coordination) ระหว่างกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่หดตัวออกแรง (Agonistic muscles) กับกล้ามเนื้อที่ทำงานตรงกันข้ามซึ่งทำหน้าที่คลายตัว (Antagonistic muscles) เป็นผลให้กล้ามเนื้อหดตัวออกแรงได้เร็วขึ้น

Newton and Kraemer (1994) ได้ให้คำนิยามของพลังกล้ามเนื้อไว้ว่าเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ออกแรงได้อย่างเต็มที่และรวดเร็วซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความสัมพันธ์กันของ งาน (Work) แรง (Force) และความเร็ว (Velocity) ไว้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{Work} = \text{Force} \times \text{Distance}$$

$$\text{Velocity} = \text{Distance} / \text{Time}$$

$$\text{Power} = \text{Force} \times \text{Velocity}$$

ดังนั้น

$$\text{Power} = \text{Force} \times \frac{\text{Distance}}{\text{Time}} \quad \text{หรือ} = \frac{\text{Work}}{\text{Time}}$$

พลังระเบิดนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกิจกรรมที่ต้องการความเร็วสูงในการที่จะปล่อยวัตถุออกไปหรือต้องการความเร็วสูงที่จุดกระทบ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว หรือการเร่งความเร็วของนักกีฬา จะเห็นได้ว่านักกีฬาจะต้องออกแรงให้มากที่สุดและใช้

เวลาน้อยที่สุดหรือการออกแรงด้วยความเร็วเพื่อสร้างพลังของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ประการ คือ

1) ความสามารถในการพัฒนาแรงภายในระยะเวลาอันสั้น หรือเรียกว่า อัตราการพัฒนาแรง (Rate of force development)

2) ความสามารถของกล้ามเนื้อในการที่จะผลิตแรงที่สูงได้อย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลเนื่องมาจากความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

ชนินทร์ชัย (2545) ได้สรุปและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาพลังระเบิดของกล้ามเนื้อว่า จะต้องมีการพัฒนาองค์ประกอบห้าประการของพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ คือ

1) ความแข็งแรงที่ความเร็วต่ำ (Slow velocity strength)
2) ความแข็งแรงที่ความเร็วสูง (High velocity strength)
3) อัตราการพัฒนาแรง (Rate of force development)
4) วงจรเหยียดตัวออก – หดตัวสั้นลง (Stretch – shortening cycle)
5) การทำงานประสานกันระหว่างกล้ามเนื้อที่ร่วมกันทำงานและทักษะของการเคลื่อนไหว (Intermuscular coordination & skill)

องค์ประกอบทั้งห้าประการนี้ต้องได้รับการพัฒนาควบคู่กันไป จึงจะเกิดพลังระเบิดของกล้ามเนื้อสูงสุด ดังนั้นยุทธวิธีของการฝึกที่เหมาะสมก็คือ ใช้การผสมผสานวิธีการฝึกแบบต่างๆ เข้าด้วยกัน ไม่ใช่การฝึกด้วยน้ำหนักหรือการฝึกพลัยโอเมตริกอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. ลักษณะทางกายภาพและบทบาทของการฝึกแรงต้านบนพื้นลาดเอียง

การวิ่งบนพื้นลาดเอียง (Running on slop surface)

วิธีการที่เป็นที่นิยมใช้ในการฝึกเพื่อพัฒนาความเร็วนั้นมีหลากหลายวิธี ซึ่งการวิ่งขึ้นเนิน (Running uphill, Slope หรือ Incline surface) นั้นก็เป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึกความเร็วโดยอาศัยแรงต้าน (Sprint-resisted method) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว (Paradisis et al, 2006) จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่แล้วนักกีฬาหรือผู้ฝึกสอนมักจะฝึกซ้อมกันตามเนินภูมิประเทศต่าง ๆ ในมุมองศาที่หลากหลาย โดยพบว่ามีข้อจำกัดในระยะทางของพื้นลาดเอียง ลักษณะของพื้นผิวพื้นลาดเอียง และที่สำคัญก็คือมุมองศาของพื้นลาดเอียงที่จะต้องมีความเหมาะสมและส่งผลอย่างมีประสิทธิภาพต่อการเร่งความเร็ว ดังที่ Dintiman and Ward (1998) กล่าวไว้ว่ามุมของพื้นลาดเอียงนั้นจะต้องทำให้นักกีฬานั้นสามารถออกตัวได้เป็นอย่างดีด้วยท่าทางที่เหมาะสม

นอกจากนี้ เจริญ (2538) ยังได้สรุปว่าการฝึกเสริมความเร็วด้วยวิธีเพิ่มความหนักหรือความต้านทานให้นักกีฬาต้องออกแรงในการเคลื่อนไหวมากขึ้น เช่นการวิ่งขึ้นเนิน (Uphill running) หรือการสวมเสื้อถ่วงน้ำหนักวิ่ง (Weight clothing) นั้น เป็นวิธีการฝึกที่กระตุ้นให้นักกีฬากระตือรือร้นที่จะแสดงออกซึ่งความสามารถสูงสุดที่มีอยู่ในตัวออกมาให้มากที่สุด เพื่อพัฒนาปรับปรุงความเร็วให้ก้าวหน้าขึ้น โดยช่วยพัฒนาเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี ซึ่งการวิ่งขึ้นเนินนั้นยังช่วยเพิ่มสมรรถภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของหน่วยควบคุมเส้นใยกล้ามเนื้อขาว (The white muscle motor unites) ให้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมการฝึกวิ่งขึ้นเนิน (ที่มา : Dintiman and Ward, 1998)

ระยะทางทั้งหมด (หลา)	ระยะทาง/เที่ยว (หลา)	ระยะทาง/เที่ยว (เมตร)	มุม (องศา)	จุดประสงค์
33.81	6.56	6	8°	การออกตัว
67.70	32.80	30	3.5 °	การเร่งความเร็ว
122.37	32.80	30	3 °	การเร่งความเร็ว

ลักษณะทางชีวกลศาสตร์ของการวิ่งขึ้นเนิน

ขณะวิ่งเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นมุมองศาของการเคลื่อนไหวของข้อต่อจะเพิ่มขึ้น โดยร่างกายส่วนขาจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเพิ่มขึ้นตามความเร็ว การงอสะโพก ข้อเข่า และการกระดกปลายเท้าขึ้นของข้อเท้า ทั้งข้อเข่าและข้อเท้าจะช่วยผ่อนแรงระหว่างช่วงการสัมผัสพื้น ทันทีที่ส้นเท้าสัมผัสพื้น การกระดกส้นเท้าขึ้นของข้อเท้า การงอสะโพกและข้อเข่าเป็นการดูดซับแรงกระแทก (Thordarson, 1997)

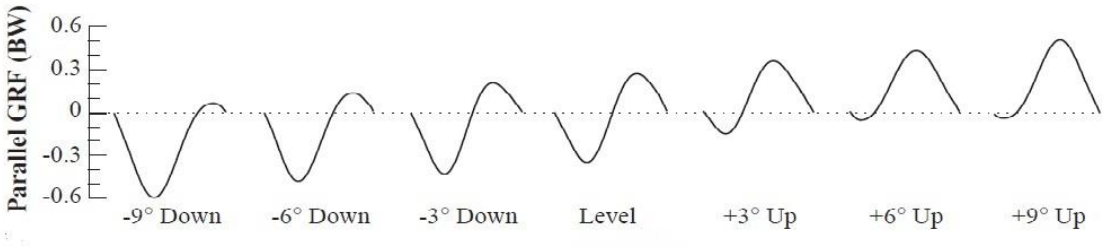
ลักษณะของแรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force) ขณะวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน

ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน หรือกฎของการกระทำ (Law of action) กล่าวว่า “เมื่อวัตถุอันหนึ่งออกแรงกระทำต่อวัตถุอีกอันหนึ่ง วัตถุอันที่ 2 ย่อมออกแรงกระทำตอบด้วยขนาดเท่ากัน แต่อยู่ในทิศตรงกันข้ามกับอันแรก” เพราะฉะนั้นทุกแรงกิริยายอมมีแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเทากันและทิศทางตรงข้ามกันเสมอ คือ

1) แรงกระทำและแรงปฏิกิริยาจะเกิดคูกันเสมอ

2) แรงทั้งหมดนี้ไม่มีหักล้างกัน เพราะกระทำกับวัตถุคนละมวลกัน เชน ทุบโตะ แรงกิริยา (Action) กระทำที่โตะ แรงปฏิกิริยา (Reaction) กระทำที่ฝามือ (ศิริรัตน์, 2551)

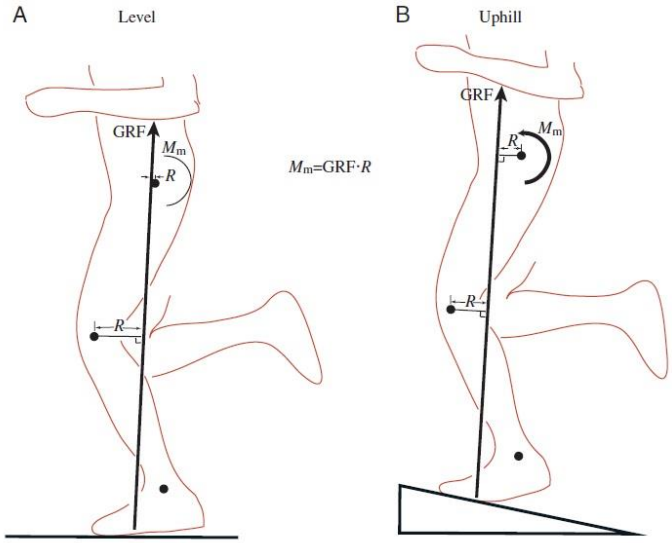
ในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนินนั้นแรงกระแทกสูงสุด (Impact force peaks) จะน้อยกว่าการวิ่งบนพื้นราบ ขณะที่แรงกระทำที่เท้าสัมผัสพื้นเพื่อส่งแรง (Propulsive force peaks) นั้นจะมากกว่าเมื่อเทียบกับการวิ่งบนพื้นราบ จากการศึกษาของ Gottschall and Kram (2005) พบว่า ขณะวิ่งขึ้นเนิน Propulsive force peaks จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับการวิ่งในแนวราบ โดยเมื่อวิ่งขึ้นเนินที่มุม 9 องศา Propulsive peaks จะเพิ่มขึ้น 75% ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงอัตราส่วนของแรงปฏิกิริยาจากพื้นต่อน้ำหนักตัวในมุมองศาที่แตกต่างกัน (Gottschall and Kram, 2005)

เช่นเดียวกันกับ Roberts and Belliveau (2005) ที่ได้ทำการศึกษาแหล่งของการเกิดพลังงานกลในการวิ่งขึ้นเนิน พบว่าเมื่อวิ่งขึ้นเนินแรงปฏิกิริยาจากพื้นจะน้อยกว่าการวิ่งบนพื้นราบ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเมื่อวิ่งในแนวราบแรงปฏิกิริยาจากพื้นจะมีเส้นแนวแรงใกล้กับสะโพกขณะที่การวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนินทำให้แขนของแรง (Moment arm) ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของการหมุนบริเวณสะโพก นั่นทำให้เกิดแรงต่อสะโพกมากกว่า เป็นผลทำให้การผลิตพลังในการเหยียดสะโพก (Hip extensor) เพิ่มมากขึ้นด้วย ขณะเดียวกันแรงที่กระทำต่อเข่าจะน้อยกว่าเพราะแขนของแรงนั้นขยับเข้ามาใกล้ยังจุดศูนย์กลางของการหมุนบริเวณหัวเข่า (Center of rotation of the knee) ดังแสดงในภาพที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

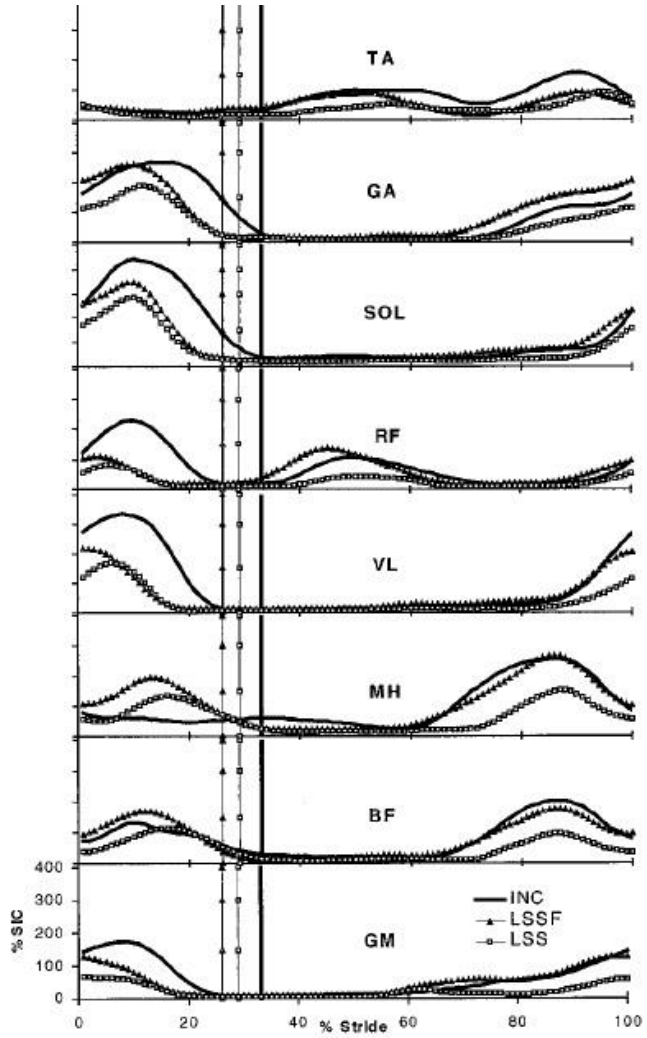


ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการหมุนบริเวณข้อเท้า เข่า และสะโพก รวมถึงแนวแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่สัมพันธ์กันกับแขนของแรง เปรียบเทียบระหว่างการวิ่งแนวราบ (A) และการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน (B) (Roberts and Belliveau, 2005)

ความสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อกับการเคลื่อนไหวของร่างกายขณะวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน

กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนินจะมีความหนักมากกว่าการวิ่งบนพื้นราบ จากการศึกษาของ Swanson and Caldwell (2000) พบว่าเมื่อวิ่งที่ความชัน 30% ของระดับความชันของลู่วิ่งกล พลังเฉลี่ยบริเวณสะโพกจะมีการทำงานมากกว่าการวิ่งบนพื้นราบ โดยความสูง (Amplitude) ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gluteus maximus, Rectus femoris, Vastus lateralis, Gastrocnemius, และ Soleus ในระยะเท้าสัมผัสพื้น (Support phase) จะสูงกว่าการวิ่งบนพื้นราบ ดังภาพที่ 3 สอดคล้องกับ Cai et al. (2010) ที่ได้เปรียบเทียบการวิ่งที่ความชันขึ้นเนิน 6 องศากับพื้นราบโดยศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อผ่านคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ พบว่ากลุ่มกล้ามเนื้อ Rectus femoris, Biceps femoris และ Gastrocnemius มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมี Amplitude ที่สูงกว่ากล้ามเนื้ออื่น ๆ มากไปกว่านั้นกล้ามเนื้อที่ใช้ในการถีบเท้าเมื่อเท้าสัมผัสพื้น เช่น Rectus femoris และ Gastrocnemius ต้องใช้ความพยามยามมากกว่าการวิ่งบนพื้นราบ เช่นเดียวกับ Sloniger et al. (1997) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกายขณะวิ่งบนพื้นราบและวิ่งบนพื้นลาดเอียงที่ความชัน 10% ของระดับความชันของลู่วิ่งกล พบว่า ขณะวิ่งบนพื้นลาดเอียงนั้นกลุ่มของกล้ามเนื้อที่ทำงานหลักๆ คือ กลุ่มกล้ามเนื้อ Adductors (83±8%), Biceps femoris

(79±7%), Gluteal group (79±11%), Gastrocnemius (76±15%), และ Vastus group (75±13%). และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งบนพื้นราบ ก็พบว่าการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อ Vastus group (23%) และ Soleus (14%) นั้นมีการทำงานมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่กลุ่มกล้ามเนื้อ Rectus femoris (29%), Gracilis (18%), และ Semitendinosus (17%). นั้นมีบทบาทน้อยกว่า



ภาพที่ 3 แสดงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานในช่วงวงจรของการก้าว (โดยวัดจากการก้าวเท้าขวาถึงเท้าขวาสัมผัสพื้นอีกครั้งหนึ่ง) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ Tibialis anterior (TA), Gastrocnemius (GA), Soleus (SOL), Rectus femoris (RF), Vastus lateralis (VL), Medial Hamstrings (MH), Biceps femoris (BF), และ Gluteus maximus (GM)

อย่างไรก็ตามการวิ่งบนลู่วิ่งกลนั้นมีความแตกต่างของกลไกในการวิ่ง การทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ รวมทั้งลักษณะทางคิเนเมติกส์ ต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งบนพื้นปกติที่เป็นเนิน เช่น พื้นดิน หรือ พื้นปูน เป็นต้น (Frishberg, 1983; Wank et al., 1998)

Yokozawa et al. (2007) ได้เปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อช่วงล่างของร่างกายขณะทำการวิ่งบนพื้นราบกับวิ่งขึ้นเนิน พบว่า Muscle activation และ Muscle torque จากกลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณสะโพกเช่น Hamstrings และ Iliopsoas ในระยะ Recovery phase ของการวิ่งจะมากกว่าขณะวิ่งขึ้นเนิน นอกจากนี้ท้อค (Torque) โดยกล้ามเนื้อ Rectus femoris ที่เป็นหลักของกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (Hip flexion) และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Knee extension) ขณะวิ่งขึ้นเนินก็จะมากกว่าวิ่งบนพื้นราบอีกด้วย ดังที่ ศิริรัตน์ (2551) กล่าวว่า ขนาดของท้อคภายในซึ่งเกิดจากผลของแรงกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับ

1) ขนาดของแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อซึ่งหมายถึงความสามารถของการ หดตัวของกล้ามเนื้อและจำนวน Motor units ในกล้ามเนื้อ

2) ความยาวของแขนของแรงกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการฝึกแรงต้านบนพื้นลาดเอียง

การศึกษา	ชนิดและรูปแบบการฝึก	มุมองศาของพื้นลาดเอียง	ประเภทของพื้นลาดเอียง
Paradisis et al. (2013)	วิ่งเร็ว Sprint เต็มที่ โดยเปรียบเทียบรูปแบบของการฝึกที่แตกต่างกัน คือ 1) ฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน (Combined uphill+downhill) 2) ฝึกวิ่งในแนวราบ (Horizontal)	3°	เนินก่อสร้าง
Paradisis and Cooke (2006)	วิ่งเร็ว Sprint เต็มที่ โดยเปรียบเทียบรูปแบบของการฝึกที่แตกต่างกัน คือ 1) Combined uphill+downhill 2) Uphill 3) Downhill 4) Horizontal	3° 3° 3°	เนินก่อสร้าง
Paradisis and Cooke (2001)	วิ่งเร็ว Sprint เต็มที่ โดยเปรียบเทียบรูปแบบของการฝึกที่แตกต่างกัน คือ 1) Uphill 2) Downhill 3) Horizontal	3° 3°	เนินก่อสร้าง
Slawinski et al. (2008)	Two maximal velocity sprints: 1) 300-m on level ground (LEV) 2) 250-m on an incline ground (INC)	4.9° (Road)	เนินถนน
Elvira et al.(2009)	ผลฉับพลันของ Sprint	4°	เนินธรรมชาติ
Ebben et al. (2008)	วิ่งเร็ว Sprint เต็มที่ โดยเปรียบเทียบมุมของเนินที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3.4 องศา, 4.0 องศา, 4.8 องศา, องศา 5.8 และ 6.9 องศา	5.8°	เนินธรรมชาติ
Roberts and Belliveau (2005)	เปรียบเทียบมุมบนลู่วิ่งกลแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0 องศา, 6 องศา และ 12 องศา	12 °	ลู่วิ่งกลปรับระดับได้ยาว 8 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อโดยตรง เพื่อใช้ในการวินิจฉัยและพยากรณ์พยาธิสภาพที่เกิดขึ้นในเส้นประสาทหรือกล้ามเนื้อ ซึ่งคล้ายกับการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคลื่นไฟฟ้าสมอง แตกต่างเฉพาะขนาดของความถี่ และศักย์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าสมอง เส้นประสาท และกล้ามเนื้อจัดเป็นเนื้อเยื่อที่ไวต่อสิ่งเร้า สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าและส่งผ่านสัญญาณเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าดังกล่าวไปตามเส้นประสาทใยกล้ามเนื้อ

Clarys and Cabri (1993) ได้กล่าวว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ คือสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อที่เกิดจากการผ่านเข้าออกเซลล์ของอิออนต่าง ๆ ทำให้เกิดดีโพราไรเซชั่นไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถวัดโดยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยจะรับสัญญาณของกระแสประสาทของกระแสไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode) แล้วส่งต่อไปยังแอมปลิไฟเออร์ (Amplifier) ของเครื่องมือ เพื่อขยายสัญญาณแล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณภาพออกทางจอ (Oscilloscope) ในทางกีฬามักใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย Basmajian and De Luca (1985) ได้กล่าวว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นมีประโยชน์ในวงกว้างต่อการกีฬา ทำให้ทราบถึงการทำงานของกล้ามเนื้อ สามารถนำไปศึกษาเป็นข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1) ศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการเคลื่อนไหวต่าง ๆ เช่น การออกแรงของกล้ามเนื้อ ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เปอร์เซ็นต์การทำงานของกล้ามเนื้อ เป็นต้น

2) ศึกษาถึงลักษณะการหดตัวของกล้ามเนื้อ เช่นถ้ากล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริกพบว่าความตึงของกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็นเชิงเส้นตรง แต่ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ใช่แบบไอโซเมตริก พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะไม่เป็นเชิงเส้นตรง

3) ศึกษาเกี่ยวกับความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ โดยดูจากลักษณะของความถี่และความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า หากความถี่และความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าลดลง แสดงว่าเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อมัดนั้น

4) ประเมินประสิทธิภาพของการฝึกรูปแบบต่าง ๆ ที่มีต่อกล้ามเนื้อ

โดยทั่วไปแล้ววิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (Electrode) อิเล็กโทรดสำหรับบันทึกสัญญาณไฟฟ้านั้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าแบบเข็ม (Needle electrode) มักใช้แทงเข้าไปในกล้ามเนื้อเพื่อบันทึกสัญญาณหรือศักย์ไฟฟ้าที่ใยกล้ามเนื้อโดยตรงใช้สำหรับวินิจฉัยโรคทางคลินิก ดังที่ ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2528) ได้กล่าวไว้ว่าขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าชนิดเข็มใช้สำหรับตรวจวัดการทำงานของกล้ามเนื้อที่ต้องการความละเอียดและเหมาะกับการตรวจวัดกล้ามเนื้อที่อยู่ในชั้นลึก (Deep muscle) ส่วนขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งคือขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าแบบวางที่ผิวหนังหรือชนิดผิว (Surface electrode) เป็นแผ่นขั้วไฟฟ้าที่วางบนผิวหนังบริเวณที่วัด มักนิยมใช้บันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อแสดงถึงความหนักเบาของการหดตัวของกล้ามเนื้อ สัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้เป็นผลรวมของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากหลายหน่วยยนต์ ซึ่งในทางการกีฬามักนิยมใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดนี้มาวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ

2) ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier)

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ มีปริมาณน้อยและขนาดไม่มาก ดังนั้น ที่ตัวเครื่องมักมีส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้ ห้ำมีขนาดโตพอสำหรับในการพิจารณา ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ดี มีกำลังขยายที่สูงพอและสม่ำเสมอตลอดช่วงศักย์ไฟฟ้าในย่านที่ตรวจวัด และสามารถกรองสัญญาณ ไม่ขยายหรือตัดสัญญาณไฟฟ้ารบกวนที่ไม่ได้ใช้ออก

3) ส่วนแสดงและบันทึกผล

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ หรือคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความถี่ที่ตอบสนองค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจหรือคลื่นไฟฟ้าสมอง จึงไม่นิยมใช้แสดงผลด้วยการบันทึกลงบนแผ่นกระดาษ เพราะจะทำให้ได้คลื่นไฟฟ้าผิดเพี้ยนเปลี่ยนแปลงไป เพราะฉะนั้นจึงต้องแสดงผ่านจอภาพออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2528) กล่าวว่าขณะที่กล้ามเนื้อมีการทำงานนั้นจะเกิดคลื่นไฟฟ้าบนกล้ามเนื้อ การหดตัวของกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าและจะมากขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อมีการเกร็งตัวหรือหดตัวมาก ความต่างศักย์ที่วัดได้ที่ผิวหนังของกล้ามเนื้อนี้จะเป็นผลรวมของการทำงานของหน่วยยนต์หลายๆหน่วยและใช้อธิบายถึงกิจกรรมที่กล้ามเนื้อนั้น ๆ ทำ ความต่างศักย์นี้สามารถวัดได้ตั้งแต่ 1 ไมโครโวลต์ จนถึง 5,000 ไมโครโวลต์ โดยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนี้จะวัด

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อผ่านทางขั้วไฟฟ้าและสายเคเบิล โดยวัดเป็นข้อมูลดิบ (Raw EMG) ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกในหน่วยความจำ (Memory card) ที่สอดเข้าไปในตัวเครื่องหลัก (Main unit) และข้อมูลจะถ่ายโยงเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป ผลรวมของคลื่นไฟฟ้าสามารถตรวจสอบได้จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยการตรวจวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมี 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ภาคจับสัญญาณ โดยใช้ขั้วจับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิวติดที่ผิวหนังตรงกับกล้ามเนื้อที่ต้องการจะวัดการทำงาน

2) ภาคขยายสัญญาณ โดยใช้แอมปลิไฟเออร์ เป็นตัวขยายสัญญาณที่ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ารับมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

3) ภาคกรองสัญญาณ โดยใช้ฟิลเตอร์ เป็นตัวตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป

4) ภาคแสดงสัญญาณ โดยใช้คอมพิวเตอร์แสดงค่าผลของการตรวจวัดออกมาเป็นกราฟและตัวเลข

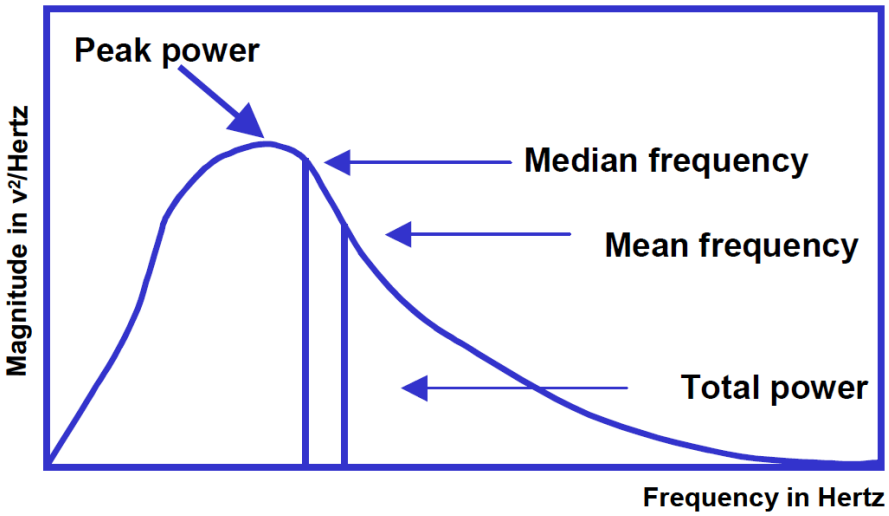
สัญญาณที่วัดและการแปลผล

หากกล่าวถึงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ค่าที่สามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้จากกราฟคือ (1) ความแรงของไฟฟ้า มีหน่วยเป็น mV หรือ uV ก็ได้, (2) ความถี่ของไฟฟ้าที่ผลิตออกมา มีหน่วยเป็น Hz หรือ cps, (3) ระยะเวลาของแต่ละ Cycle หรือ Duration ของไฟฟ้า มีหน่วยเป็น msec หรือ usec และ (4) ลักษณะรูปร่างของไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็น Monophasic, Biphasic หรือ Polyphasic เป็นต้น

ตัวแปรในการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

การหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum Intensity)

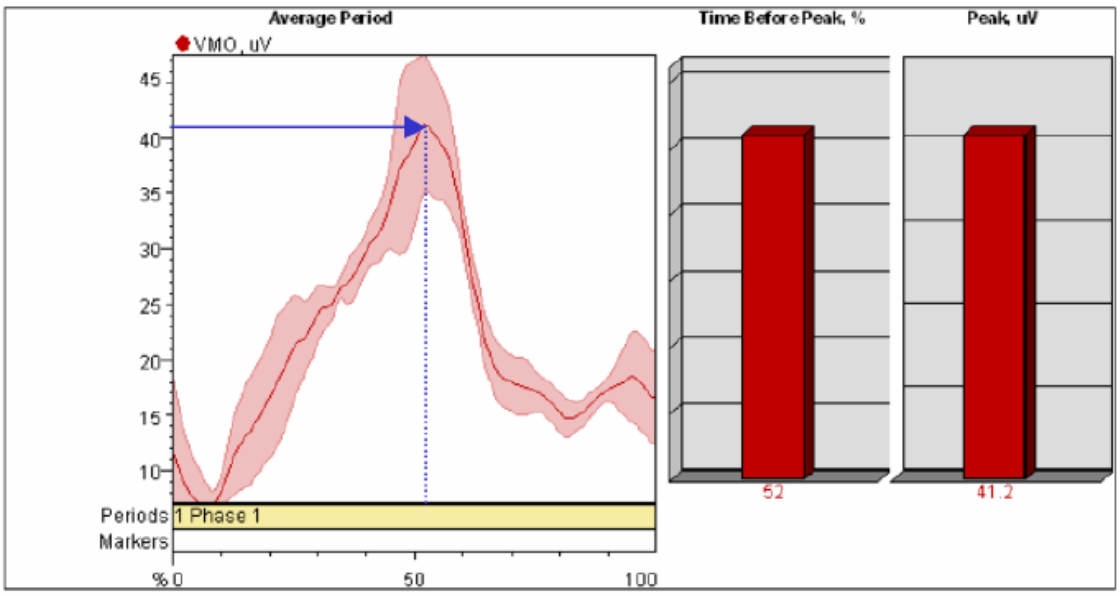
การออกแรงของกล้ามเนื้อสูงสุด คือค่าของเส้นโค้งเสปกตรัมพลังงานทั้งหมดเพื่ออธิบายลักษณะความถี่ ในการวิเคราะห์ความถี่ EMG ที่ใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด คือความถี่เฉลี่ยและมัธยฐานและการเปลี่ยนแปลงของการหดตัวที่ยั่งยืน ซึ่งการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Intensity) คืออัตราส่วนการหดตัวของกล้ามเนื้อของคลื่นไฟฟ้า EMG สูงสุด ซึ่งวัดจากกราฟสูงสุดของการทำงานของกล้ามเนื้อมัดนั้นทำการ Normalization กับค่า Maximum Voluntary Contraction (MVC) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (ที่มา : Konrad, 2006)

ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด (Time to Peak)

ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อซึ่งระบุถึงลักษณะของเวลาการทำงานของกล้ามเนื้อภายในสัญญาณ EMG และในอัตราส่วนของสัญญาณชีวกลศาสตร์หรือการเคลื่อนที่อื่น ๆ โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการคำนวณ Time to peak ซึ่งเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นของการวิเคราะห์ (หรือจุดเริ่มต้นของการหดตัว) ไปจนถึงค่าความกว้างสูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด (ที่มา : Konrad, 2006)

อัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development)

คือการทำงานของEMG เบื้องต้นสามารถเห็นระยะเวลาในการพัฒนาแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของของการพัฒนาแรงทั้งสองพารามิเตอร์ ได้แก่การหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Peak power) และระยะในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด (Time to peak) สามารถอธิบายได้ตาม Curvi-Linear : กล่าวคือ เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดในระยะเวลาที่สั้นหรือเป็นพลังระเบิด

11.ระบบประสาทกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาเลี้ยงมากมาย เซลล์ประสาทสั่งการหนึ่งเซลล์และจำนวนเซลล์กล้ามเนื้อทั้งหมดที่ถูกเลี้ยงโดยเส้นประสาทที่แตกแขนงมาจากเซลล์ประสาทสั่งการตัวเดียวกันนั้น เรียกว่า มอเตอร์ยูนิต (Motor unit) (ภนารี, 2553) นอกจากนี้ พงษ์จันทร์ (2551) ยังได้กล่าวว่าใยกล้ามเนื้อจะหดตัวมากหรือน้อยนั้นสัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์ยูนิต มอเตอร์ยูนิตส่วนใหญ่มักร่วมทำงานที่ระดับความถี่ของการกระตุ้นที่สามารถกระตุ้นเกือบทุกเส้นใยในมอเตอร์ยูนิต จำนวนมอเตอร์ยูนิตที่ร่วมทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลทางสรีรวิทยาที่สำคัญในการควบคุมการสร้างแรงและกำลังของกล้ามเนื้อ ดังที่ ดรุณวรรณ จักรพันธุ์ (2544) ได้กล่าวถึงความสำคัญของหน่วยยนต์ว่าหน่วยหน่วยที่เล็กที่สุดที่ระบบการเคลื่อนไหวจะทำงานได้ โดยหน่วยยนต์หนึ่งประกอบด้วย ประสาทยนต์ (Motor nerve) 1 ใย พร้อมทั้งจำนวนใยกล้ามเนื้อที่ประสาทยนต์นี้ไปเลี้ยง การหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ ซึ่งสั่งงานออกมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (Nerve action potential) จากระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นเมื่อมีคำสั่งส่งมาจากเซลล์ประสาทจะทำให้ใยกล้ามเนื้อในหน่วยยนต์นั้น ๆ เกิดการหดตัวพร้อมกันทั้งกลุ่ม ลักษณะของสัญญาณโดยเฉพาะความถี่จากเซลล์ประสาทยนต์ (Motor neuron) จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของกล้ามเนื้อโดยออกฤทธิ์ที่ยีน เช่น เซลล์ประสาทยนต์ที่ควบคุมเส้นใยที่หดตัวช้า (Type I) ก็จะเป็นชนิดนั้น ๆ เหมือนกันหมด แต่เนื่องจากกล้ามเนื้อแต่ละมัดของร่างกายจะประกอบขึ้นด้วยหน่วยยนต์จำนวนมากและแต่ละหน่วยยนต์มีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้นในกล้ามเนื้อโครงร่างแต่ละแห่งจะมีเส้นใยที่หดตัวได้เร็วและหดตัวได้ช้าปะปนกัน (Heterogenous) ซึ่งคุณสมบัติของกล้ามเนื้อมัดนั้นจะเป็นอย่างไร ขึ้นอยู่กับชนิดเซลล์กล้ามเนื้อส่วนใหญ่ว่าเป็นชนิดใด เช่น กล้ามเนื้อ Soleus เป็นกล้ามเนื้อที่จัดว่าหดตัวช้า จะมีเส้นใยที่หดตัวช้าอยู่ 80-90% และหดตัวเร็วอยู่ 10-20% คุณสมบัติของเซลล์ประสาทยนต์ และเส้นใยกล้ามเนื้อในหน่วยยนต์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ในหน่วยยนต์ของเส้นในกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า เซลล์ประสาทสั่งการจะมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

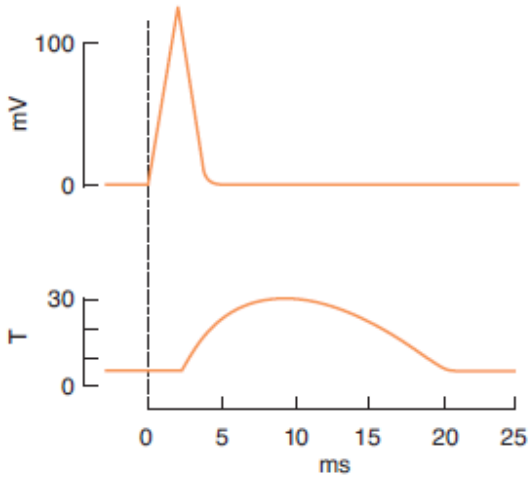
ขนาดเล็ก มีระดับกั้น (Threshold) ต่ำ ถูกกระตุ้นโดยง่าย ส่วนในหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วนั้น เซลล์ประสาทสั่งการมีขนาดใหญ่ มีระดับกั้นสูง ถูกกระตุ้นยากโดยเฉพาะชนิดหดตัวเร็วบี (Type IIb) ถูกกระตุ้นยากที่สุด ดังนั้นเมื่อทำงานหนักขึ้นหน่วยยนต์ที่จะมาช่วยการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า คือชนิดหดตัวเร็วเอ (Type IIa) เมื่อแรงกระตุ้นสูงขึ้นถึงอีกระดับหนึ่งจะถึงระดับกั้นของชนิดหดตัวเร็วบี (Type IIb) หน่วยยนต์เส้นใยในกลุ่มนี้จึงจะถูกระดมให้ออกมาทำงาน การพัฒนาความสามารถในการระดมความพร้อมเพรียงในการทำงานของหน่วยยนต์นี้จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับการฝึกฝนในนักกีฬา อย่างไรก็ดียังพบว่าในกล้ามเนื้อมัดเดียวกัน ก็ยังมีความแตกต่างกันไปด้วย แต่อาจกล่าวได้ว่านักกีฬาที่ต้องอาศัยความอดทน มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้ามากกว่าส่วนนักกีฬาที่ไม่ตองการความอดทน หรือใช้พลังของกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากกว่า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย

ศักย์ไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายขณะพักมีค่าระหว่าง -80 ถึง -90 มิลลิโวลท์ซึ่งพอ ๆ กับศักย์ไฟฟ้าของเส้นประสาทขนาดใหญ่ที่มีเยื่อมัยอีลินหุ้ม เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นจนเกิด Depolarization ถึง 60 มิลลิโวลท์จะเกิดศักย์ทำงาน (Action potential; AP) AP มีช่วงเวลา 1-5 มิลลิวินาทีซึ่งยาวนานกว่าช่วงเวลาของศักย์ทำงานของเส้นประสาทขนาดใหญ่ที่มีเยื่อมัยอีลินหุ้มถึง 5 เท่า หลังจากเกิดศักย์ทำงานกล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าทันที จะต้องมีระยะดื้อ ซึ่งประกอบด้วย

1) ระยะดื้อสัมบูรณ์ (Absolute refractory period; ARP) ซึ่งเป็นช่วงเวลาตั้งแต่เกิด depolarization จนถึง 1/3 ของช่วงเกิด Repolarization โดยเป็นช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อจะไม่ตอบสนองต่อตัวกระตุ้นเลย

2) ระยะดื้อสัมพัทธ์ (Relative refractory period; RRP) จะเป็นช่วงเวลาที่ต่อจากระยะดื้อสัมบูรณ์ ช่วงนี้ผนังเซลล์เริ่มคืนตัวจึงตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นได้บ้างแต่ต้องใช้ความแรงในการกระตุ้นมากกว่าปกติ ความเร็วในการนำสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายมีค่า 305 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 6 การตอบสนองทางไฟฟ้าและกลศาสตร์ของใยกล้ามเนื้อลายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่อการกระตุ้นด้วยความแรงสูงสุด การตอบสนองทางไฟฟ้า (ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง; มิลลิโวลท์; mV) และการตอบสนองทางกลศาสตร์ (แรงตึง; T) นั้นถูกเขียนไว้ในแกนเวลาเดียวกัน (ที่มา : Barrett et al., 2012)

ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท (Nerve conduction capacity)

Hoffmann reflex (H-reflex)

แรกเริ่มนั้น Hoffmann reflex ถูกอธิบายโดย Paul Hoffmann ในปี 1910 ไว้ว่าเป็นปฏิกิริยาของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ไขสันหลัง ซึ่งมีกลไกคล้ายกับการเกิด Stretch reflex

H-reflex สามารถใช้ในการตรวจประเมินการทำงานของระบบประสาททางคลินิคได้ เช่น ระบบประสาทที่มีความผิดปกติไปจากเดิมเกิดการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ใช้เป็นเครื่องพิสูจน์ในการฟื้นฟูสมรรถภาพ การออกกำลังกาย และสมรรถภาพในการเคลื่อนไหว เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลักษณะพื้นฐานของ H-reflex ถูกอธิบายไว้ว่าการกระตุ้นเส้นประสาทรับรู้ (Sensory nerve) ทำให้เกิดกระแสประสาทที่เดินทางไปยังไขสันหลัง ทำให้เกิดการส่งกระแสประสาทกลับมายังเส้นประสาทยนต์ (Motor nerve) และเดินทางไปสู่กลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายและหากมีกระแสไฟฟ้ามากพอจนทำให้เกิด Action potential ก็จะทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อนั้น สอดคล้องกับจักกริช (2552) ที่กล่าวว่า H-reflex นั้นเป็น Monosynaptic reflex ที่เกิดจากการกระตุ้นใยประสาท Iα afferent จาก Muscle spindle ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความตึงตัวของกล้ามเนื้อ Soleus โดยกระแสประสาทจะวิ่งขึ้นไปตาม Sensory axon ผ่าน Dorsal root สู่ Dorsal horn cell ของไขสันหลังและไป Synapse กับ Anterior horn cell ระดับ S1 เกิด action potential วิ่งกลับลงมาตาม motor axon ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว

การกระตุ้น H-reflex

กระบวนการที่นิยมในการกระตุ้นให้เกิด H-reflex คือการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านทางผิวหนัง เพื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านผิวหนังลงไปสู่เส้นประสาทชนิดผสม (Mixed Nerve)

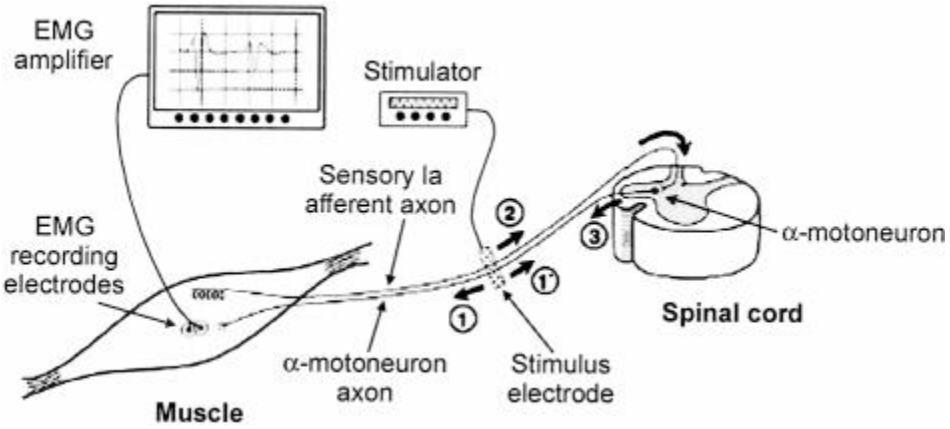
การกระตุ้นจะเริ่มต้นด้วยการตั้งค่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าอย่างเหมาสม ยกตัวอย่างเช่น ตั้งค่าความยาวคลื่นที่ 0.5 มิลลิวินาที ความถี่ 0.1 เฮิร์ตซ์ จากนั้นวางขั้วกระตุ้นบริเวณที่ต้องการกระตุ้น แล้วเริ่มปรับความเข้มของกระแสไฟฟ้าขึ้นเรื่อย ๆ อย่างช้า ๆ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่วัดได้จากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ระยะทางของเส้นทางในการเกิด H-reflex ที่ต่างกันจะทำให้ได้เวลาที่เกิด H-reflex เร็วหรือช้าต่างกันออกไปด้วย โดยกล้ามเนื้อใดที่อยู่ใกล้สันหลังก็จะทำให้เกิด H-reflex ได้เร็วกว่ากล้ามเนื้อที่อยู่ไกลออกไปจากไขสันหลัง อาทิเช่น กล้ามเนื้อ Soleus จะเกิด H-reflex หลังจาก 30 มิลลิวินาทีของการกระตุ้นไฟฟ้า ในขณะที่กล้ามเนื้อ Vastus Medialis จะเกิด H-reflex หลังจาก 15 มิลลิวินาทีของการกระตุ้นไฟฟ้า

เส้นทางการเดินทางของ H-reflex

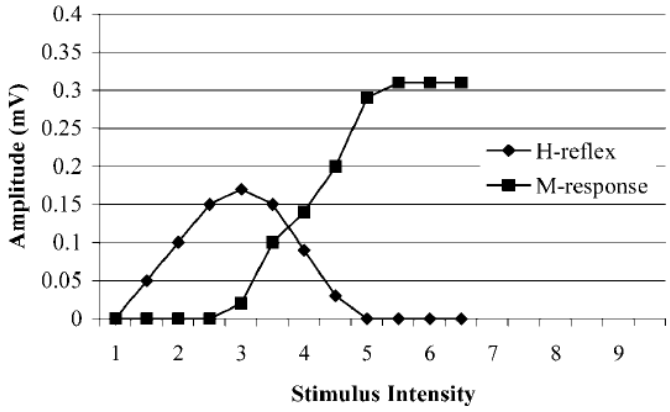
การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดการส่งผ่านไปทางเส้นใยประสาทนำเข้า (Ia Sensory) ผ่าน Motor neuron pool และจะถูกส่งกลับมายังเส้นใยประสาทนำออก (Motor) ซึ่งจะทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อถ้าการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้านั้นทำให้เกิด Action potential จากไขสันหลัง จึงทำให้เกิดการวักคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ออกมาเป็น H-reflex ที่ผ่านมาการเกิด H-reflex ถูกกล่าวถึงความคล้ายคลึงกับการเกิด Stretch reflex ซึ่งความแตกต่างเพียงอย่างเดียวของกลไกการเกิดปฏิกิริยาทั้งสองนั้นคือ H-reflex จะเกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้า ในขณะที่ stretch reflex จะเกิดจากการยืดกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 7 แสดง Hoffmann reflex (H-reflex) and muscle response (M-wave) pathways

โดยเมื่อกระตุ้นไฟฟ้าที่ผิวหนัง สัญญาณไฟฟ้าจะผ่านไปตามเส้นประสาทรับรู้ (หมายเลข 2) และจะผ่านไปตามเส้นประสาทยนต์เพื่อนำไปสู่การเกิด Action potential เป็น M-response (หมายเลข 1) เมื่อสัญญาณไฟฟ้าจากเส้นประสาทรับรู้เข้าสู่ไขสันหลังจะเกิดการส่งสัญญาณประสาทออกมาตามเส้นประสาทยนต์เพื่อนำไปสู่การเกิด Action potential เป็นH-reflex ดังหมายเลข 3 ถ้าหากสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นที่ผิวหนังมีมากเกินไป สัญญาณที่ออกมาจากไขสันหลังจะหักล้างจากสัญญาณของเส้นประสาทยนต์ที่วิ่งสวนทางกัน (ดังหมายเลข 1 และ 3) เพราะฉะนั้นความสัมพันธ์กันของ H-reflex กับ M- response จะมีความสัมพันธ์แบบสวนทางกันเสมอ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดสัญญาณไฟฟ้าระหว่าง H-reflex กับ M- response (ที่มา : Palmieri, Ingersoll and Hoffman, 2004)

จะเห็นได้ว่าความเร็วของกระแสประสาทผ่านเส้นใยประสาทนำออกจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการวิ่งเร็ว โดยความเร็วการนำสัญญาณประสาทสามารถพัฒนาและเพิ่มขึ้นได้จากการฝึกความเร็ว

การจัดท่าทางในขณะทำการหาค่า H-Reflex

การจัดท่าทางของผู้เข้าร่วมการทดสอบ H-Reflex เป็นสิ่งสำคัญมาก ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า H-Reflex เช่น มุมของข้อต่อ การเปิดหรือปิดตา ตำแหน่งของศีรษะ ความเกร็งตัวของกล้ามเนื้อและความยาวของกล้ามเนื้อ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าท่านอนหงายหรือนอนคว่ำแล้วรักษาระดับมือและศีรษะให้เท่าเดิมตลอดการทดสอบจะให้ผลการทดสอบค่า H-Reflex ที่น่าเชื่อถือได้

ข.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยภายในประเทศ

เสาวลักษณ์ ศิริปัญญา (2550) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการเคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิดที่มีต่อสรรถภาพของกล้ามเนื้อนักกีฬาเซปักตะกร้อหญิงทีมชาติไทย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเซปักตะกร้อหญิงทีมชาติไทยจำนวน 15 คน อายุระหว่าง 19-26 ปี โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ทำการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัว ความสามารถในการเร่งความเร็ว ความอ่อนตัว พลังกล้ามเนื้อขา และความคล่องแคล่วว่องไว จำนวน 3 ครั้งคือ ก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 โดยกลุ่มตัวอย่างฝึกตามโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการเคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิด เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัว ความสามารถในการเร่งความเร็ว ความอ่อนตัว พลังกล้ามเนื้อขา และความคล่องแคล่วว่องไว มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เฉลิมวุฒิ อาภานุกูล (2549) ศึกษาผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการเคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิดที่มีต่อการพัฒนาความคล่องแคล่วว่องไวของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 30 คน อายุระหว่าง 18-22 ปี ได้มาด้วยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มกลุ่มละ 15 คน ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย ประกอบด้วยกลุ่มควบคุมที่ทำการฝึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตามปกติเพียงอย่างเดียว และกลุ่มทดลองที่ทำการฝึกเสริมด้วยการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการเคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิดและฝึกตามปกติ ใช้ระยะเวลาในการฝึก 8 สัปดาห์ โดยทำการทดสอบความคล่องแคล่วว่องไว พลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา ความสามารถในการเร่งความเร็ว และความอ่อนตัวแบบเคลื่อนที่ของสะโพก ก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 ผลการวิจัยพบว่า

1) หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 กลุ่มทดลองมีความคล่องแคล่วว่องไวมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ฝึกตามปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีความคล่องแคล่วว่องไว พลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา และความสามารถในการเร่งความเร็ว มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ฝึกตามปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีความคล่องแคล่วว่องไว พลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา ความสามารถในการเร่งความเร็ว และความอ่อนตัวแบบเคลื่อนที่ของสะโพก มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศราวุฒิ คุณาธรรม (2549) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้เวลาพักระหว่างการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริกแตกต่างกันที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อขา กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชายของสำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 36 คน อายุระหว่าง 18-22 ปี ซึ่งได้มาด้วยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เริ่มฝึกพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาก่อนเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยทำการฝึกด้วยน้ำหนักโดยใช้ท่าแบกน้ำหนักย่อตัวให้เข่าเป็นมุม 135 องศา จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 12 คน ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยกลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกตามโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้เวลาพักระหว่างการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริกไม่เกิน 30 วินาที กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกตามโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้เวลาพักระหว่างการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริก 1-2 นาที และกลุ่มทดลองที่ 3 ฝึกตามโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้เวลาพักระหว่างการฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริก 3-4 นาที โดยใช้ระยะเวลาในการฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของกลุ่มทดลองทั้งสามกลุ่ม อย่างไรก็ตามพบว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัว พลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา และพลังอดทนของกล้ามเนื้อขา ในทุกกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2545) ได้ศึกษาผลของการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อการเร่งความเร็วของนักวิ่ง 100 เมตรทีมชาติไทย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่ง 100 เมตรทีมชาติไทย จำนวน 8 คน โดยใช้วิธีการจัดกระทำแบบสุ่ม แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน ประกอบด้วยกลุ่มทดลองที่ทำการฝึกเชิงซ้อน และกลุ่มควบคุมทำการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่ฝึกด้วยน้ำหนัก ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า กลุ่มฝึกเชิงซ้อน มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร จุด 30 เมตร และจุด 40 เมตรมากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มฝึกเชิงซ้อนยังมีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ทำการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่ฝึกด้วยน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2544) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก การฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และการฝึกเชิงซ้อน ที่มีต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาประเภททีมของวิทยาลัยพลศึกษาจังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 72 คน โดยใช้วิธีการจัดดำเนินการแบบสุ่มและทำให้ตัวแปรควบคุมคงที่ กลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 18 คน ประกอบด้วย กลุ่มควบคุมฝึกตามปกติ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และกลุ่มทดลองที่ 3 ฝึกเชิงซ้อน ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มทำการทดสอบพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา พลังความอดทนของกล้ามเนื้อขาและความแข็งแรงสูงสุดแบบไอโซโทนิคของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัว ก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 12 ผลการวิจัยพบว่า หลังการทดลอง 12 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) กลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก กลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และกลุ่มฝึกเชิงซ้อนมีผลต่อพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) การฝึกเชิงซ้อนมีผลต่อพลังความอดทนของกล้ามเนื้อขามากกว่าการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) การฝึกเชิงซ้อนและการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก มีผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดแบบไอโซโทนิคของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัว มากกว่าการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

งานวิจัยต่างประเทศ

Paradisis et al. (2013) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และคุณลักษณะทางคิเนเมติคจากการฝึกวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน ซึ่งมีจุดประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของการฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนินระยะเวลา 8 สัปดาห์ที่มีต่อการผลิตแรงของกล้ามเนื้อขา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 24 คน โดยได้รับการสุ่มแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มคือกลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน (Combined uphill-downhill [U+D]) กับกลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบ (Horizontal (H)) และกลุ่มควบคุม (Control group (C)) ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนินนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หลังจากการฝึก 8 สัปดาห์ โดยมีการพัฒนาของ Maximal isometric force (7.1%) และ อัตราการผลิตแรง (Rate of force production) (≈25%) ของกลุ่มกล้ามเนื้องอเข่า (Knee flexor muscles) รวมถึง Maximum sprinting speed (5.9%) และความสัมพันธ์ของตัวแปรทางคิเนเมติค อย่างไรก็ตามพบว่าระยะถีบเท้าเมื่อเท้าสัมผัสพื้น (Propulsive phase of contact) นั้นลดลง 17% ซึ่งจะสัมพันธ์และเชื่อมโยงกันระหว่างการพัฒนาอัตราการผลิตแรงขณะทำการทดสอบ Isometric test กับอัตราการผลิตแรงถีบเท้าขณะวิ่งด้วยความเร็ว การเพิ่มขึ้นของความสามารถของกลุ่มกล้ามเนื้องอขานั้นจะส่งผลในการสร้างแรงที่จะมีอิทธิพลต่อการพัฒนาความเร็วก็เนื่องมาจากประสิทธิภาพของการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่าขณะก้าวเท้าในระยะ Support phase

Paradisis et al. (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกวิ่งเร็วบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน 3 องศาที่มีต่อคุณลักษณะทางคิเนเมติคและตัวแปรทางสรีรวิทยา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาพลศึกษาและกีฬา จำนวน 54 คน โดยได้รับการสุ่มแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มคือกลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน (Combined uphill-downhill [U+D]) กับกลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบ (Horizontal (H)) และกลุ่มควบคุม (Control group (C)) ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วสูงสุดที่ระยะ 35 เมตร ความถี่ของช่วงก้าว ความยาวของช่วงก้าว ระยะเวลาในการก้าว เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในระยะEccentric (EP) และ Concentric (CP) เวลาในการลอยตัวเท้าพ้นพื้น ท่าทางลักษณะทางคิเนเมติคของการวิ่งในวงจรของการก้าวเท้า และทดสอบการปั่นเร็ว 6 วินาที ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วสูงสุดที่ระยะ 35 เมตร ความถี่ของช่วงก้าว ระยะเวลาในการก้าว เวลาที่เท้าสัมผัสพื้น นั้นพัฒนาขึ้นหลังจากได้รับการฝึก 8 สัปดาห์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<.01$) ในกลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน โดยพัฒนาขึ้น 4.3%, 4.3%, -5.1%,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และ -3.9% ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบนั้นมีการพัฒนาขึ้นน้อยกว่ากลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนิน โดยพัฒนาขึ้น 1.7% (P<.05), 1.2% (P<.01), 1.7% (P<.01), และ 1.2% (P<.01) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มควบคุม คุณลักษณะทางคิเนเมติค และPeak anaerobic power (AWT) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ กลุ่ม สรุปได้ว่ากลุ่มฝึกผสมวิ่งเร็วขึ้นและลงเนินนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบในการที่จะพัฒนาความเร็วสูงสุดและคุณลักษณะทางคิเนเมติค

Elvira et al. (2009) ได้ศึกษาผลของการวิ่งเร็วขึ้นเนินที่มีต่อตัวแปรที่สัมพันธ์กับเทคนิคและประสิทธิภาพในการวิ่งของนักกีฬาฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลชาย ระดับดิวิชั่น 3 ของลีกประเทศสเปน จำนวน 16 คน โดยทำการทดสอบการวิ่งระยะ 30 เมตร ทั้งในแนวราบและพื้นลาดเอียงขึ้นเนินที่มุม 4 องศา ทำการบันทึกความเร็วเฉลี่ยทุก ๆ 10 เมตร (0-10 เมตร 10-20 เมตร และ 20-30 เมตร) และบันทึกวิดีโอแบบ 2D ที่ระยะ 20-30 เมตร โดยกลุ่มตัวอย่างทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้งและใช้ครั้งที่ดีที่สุดมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วเฉลี่ย 0-10 เมตร 10-20 เมตร และ 20-30 เมตร ตลอดจนความยาวช่วงก้าว และมุมของต้นขามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการวิ่งแนวราบและพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน โดยเวลาเฉลี่ยในแต่ละระยะและความยาวช่วงก้าวของการวิ่งขึ้นเนินจะน้อยกว่าการวิ่งในแนวราบ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับการวิ่งลากถ่วงน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการวิ่งขึ้นเนินนั้นเป็นรูปแบบการฝึกวิ่งด้วยแรงต้านที่สามารถฝึกเพื่อพัฒนาความยาวช่วงก้าวได้โดยไม่ทำให้มุมของลำตัวนักกีฬาเปลี่ยนแปลงไปแต่จะไปเพิ่มการยกของต้นขาเพื่อส่งแรงซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเพิ่มของช่วงก้าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Ebben et al. (2008) ได้ทำการศึกษาผลของมุมของเนินชันที่มีต่อความเร็วฉับพลันของการวิ่ง Overspeed โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาทั้งการเร่งความเร็ว (Acceleration) และความเร็วสูงสุด (Supramaximal velocity) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาจำนวน 44 คน ทำการทดสอบการวิ่งที่ระยะ 40 หลา (40-Yard sprints) ในมุมของเนินที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 3.4 องศา, 4.0 องศา, 4.8 องศา, องศา 5.8 และ 6.9 องศาโดยบันทึกความเร็วที่ระยะ 40 หลา และ 10 หลา ผลการวิจัยพบว่าการวิ่งที่ระยะ 40 หลา และ 10 หลา โดยใช้มุมของเนิน 5.8 องศานั้นมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งแนวราบและมุมอื่นๆ ซึ่งมุมของเนิน 5.8 องศา จะพัฒนาความเร็วสูงสุด 7.09% +/- 3.66% และเพิ่มการเร่งความเร็ว 6.54% +/- 1.56%. สรุปได้ว่าผู้ฝึกสอนนักกีฬาที่จะฝึกและพัฒนาความเร็วให้กับนักกีฬาโดยใช้ Overspeed hills หรือ

ทางที่มีระดับมุม Platforms with slopes ควรใช้มุมของความชันประมาณ 5.8 องศา ในการที่จะพัฒนาการเร่งความเร็วและความเร็วสูงสุด.

Paradisis and Cooke (2006) ได้ศึกษาผลของการฝึกวิ่งเร็วบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน 3 องศา ที่มีต่อตัวแปรทางคิเนเมติคและทางสรีรวิทยา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาพลศึกษาจำนวน 35 คน โดยได้รับการสุ่มแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มกลุ่มละ 7 คน ประกอบไปด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มฝึกผสมวิ่งขึ้นและลงเนิน (Uphill-Downhill) กลุ่มทดลองที่ 2 กลุ่มฝึกวิ่งลงเนิน (Downhill) กลุ่มทดลองที่ 3 กลุ่มฝึกวิ่งขึ้นเนิน (Uphill) กลุ่มทดลองที่ 4 กลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบ (Horizontal) และกลุ่มควบคุม (Control) ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วในการวิ่งที่ระยะ 35 เมตร ความถี่ของช่วงก้าว ความยาวของช่วงก้าว ระยะเวลาในการก้าว เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในระยะ Eccentric และ Concentric เวลาในการลอยตัวเท้าพ้นพื้น ท่าทางลักษณะทางคิเนเมติคของการวิ่งในวงจรของการก้าวเท้า และ Peak anaerobic power ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วในการวิ่งและความถี่ของช่วงก้าวนั้นพัฒนาขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับการฝึก โดยกลุ่มฝึกผสมวิ่งขึ้นและลงเนินมีความเร็วเพิ่มขึ้น 0.29 m.s(-1) (3.5%) และ 0.14 Hz (3.4%) ตามลำดับ และกลุ่มฝึกวิ่งลงเนินมีความเร็วเพิ่มขึ้น 0.09 m.s(-1) (1.1%) และ 0.03 Hz (2.4%) ขณะที่เวลาในการลอยตัวเท้าพ้นพื้นนั้นลดลงเฉพาะกลุ่มฝึกผสมวิ่งขึ้นและลงเนินเท่านั้นโดยมีเวลาลดลง 6 ms (4.3%). อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มฝึกวิ่งในแนวราบ และกลุ่มควบคุม สรุปได้ว่าตัวแปรทางคิเนเมติคและ peak anaerobic power ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากได้รับการฝึก ซึ่งวิธีการฝึกผสมวิ่งขึ้นและลงเนินนั้นเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการที่จะพัฒนาความเร็วในการวิ่งที่ระยะ 35 เมตร และสัมพันธ์กันกับคุณลักษณะทางคิเนเมติคในแนวราบของการวิ่งเร็ว

Gottschall and Kram (2005) ได้ทำการศึกษาแรงปฏิกิริยาจากพื้นขณะวิ่งลงเนินและขึ้นเนิน โดยจะเป็นการศึกษาถึงผลของความเชื่อมโยงของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่จะนำไปสู่สาเหตุของการบาดเจ็บและพลังจากการวิ่งขึ้นเนิน สมมติฐานของการวิจัยคือ Force peaks ทั้ง Impact และ Active จะเพิ่มขึ้นขณะวิ่งลงเนินและลดลงขณะวิ่งขึ้นเนิน รวมทั้ง Braking force peaks จะเพิ่มขึ้นขณะวิ่งลงเนิน และ Propulsive force peaks เพิ่มขึ้นขณะวิ่งขึ้นเนิน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 10 คนโดยเป็นหญิง 5 คน และชาย 5 คน ให้วิ่งบนลู่วิ่งกลที่ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที (m/s) ที่ระดับมุมแตกต่างกันคือ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา ผลการวิจัยพบว่า ขณะวิ่งลงเนิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Force peaks และ Braking force peaks นั้นสูงกว่าการวิ่งในแนวราบ โดยเมื่อวิ่งลงเนินที่ 9 องศา Force peaks จะเพิ่มขึ้น 54% และ Braking force peaks จะเพิ่มขึ้น 73% นอกจากนี้ยังพบว่าขณะวิ่งขึ้นเนิน Force peaks นั้นต่ำว่าและ Propulsive force peaks จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับการวิ่งในแนวราบ โดยเมื่อวิ่งขึ้นเนินที่ 9 องศา Propulsive peaks จะเพิ่มขึ้น 75% ข้อมูลด้านชีวกลศาสตร์ทำให้สรุปได้ว่า การวิ่งลงเนินนั้นจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมซ้ำ ๆ และพบว่า Metabolic cost จะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อมุมของเนินยิ่งชันลง

Zafeiridis et al. (2005) ได้ศึกษาถึงการฝึกเสริมโดยการใช้น้ำหนักและไม่ใช้น้ำหนักที่มีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วและความเร็วสูงสุดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาชายอายุเฉลี่ย 20.1± 1.9 ปี จำนวน 20 คนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกเสริมโดยการใช้น้ำหนักซึ่งใช้ เครื่องลาก 5 กิโลกรัมและฝึกโปรแกรมการฝึกความเร็ว อีกกลุ่มคือกลุ่มที่ไม่ใช้น้ำหนักโดยฝึกเฉพาะโปรแกรมการฝึกความเร็วทำการฝึกทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ฝึกโดยการใช้น้ำหนักมีการพัฒนาขึ้นของความเร็วที่จุด 0-10 เมตร และ 0-20 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่กลุ่มที่ไม่ใช้น้ำหนักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้ามกลุ่มที่ฝึกเสริมโดยการใช้น้ำหนักการฝึกไม่มีผลต่อระยะการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด

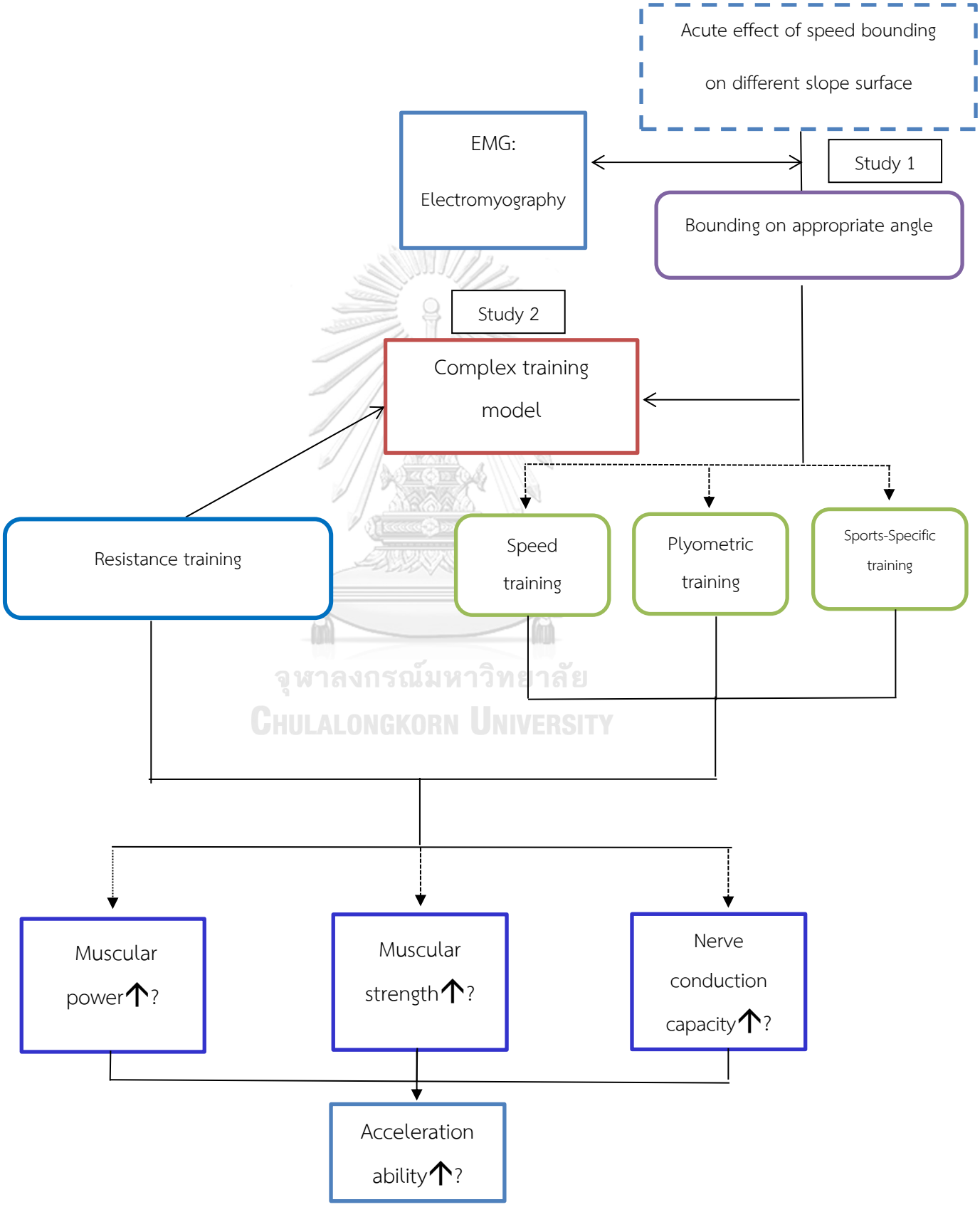
Paradisis and Cooke (2001) ได้ศึกษาลักษณะทางคิเนเมติคและท่าทางในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงโดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่ออธิบายคุณลักษณะทางคิเนเมติคและลักษณะท่าทางในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนินและลงเนินที่มุม 3 องศากับการวิ่งในแนวราบ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักศึกษาพลศึกษาจำนวน 8 คน ได้รับการบันทึกวิดีโอขณะทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยได้รับสถานการณ์ในการวิ่ง 3 เงื่อนไขด้วยกันคือ (a) วิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนิน 3 องศา (Uphill) (b) วิ่งลงเนิน 3 องศา (Downhill) และ (c) วิ่งในแนวราบ (Horizontal) โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วในการวิ่ง ความยาวช่วงก้าว ความถี่ช่วงก้าว ระยะเวลาในการก้าว เวลาที่เท้าสัมผัสพื้น เวลาในการลอยตัวเท้าพ้นพื้น และท่าทางลักษณะทางคิเนเมติคของการวิ่งในวงจรของการก้าวเท้า ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการวิ่งบนพื้นลาดเอียงต่างระดับกับการวิ่งในแนวราบ ความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 9.2% ขณะทำการวิ่งลงเนิน และความเร็วในการวิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 3.0% ขณะทำการวิ่งขึ้นเนิน ซึ่งในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขึ้นเนินและวิ่งลงเนินความยาวช่วงก้าวนั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการวิ่ง โดยขณะทำการวิ่งลงเนินพบว่า ความยาวช่วงก้าวเพิ่มขึ้น 7.1% ($p<.05$) ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กับการเปลี่ยนแปลงของท่าทางขณะเท้าลงสู่พื้น (Touchdown) และการเหยียดเท้าให้พ้นพื้น (Takeoff) และขณะทำการวิ่งขึ้นเนินพบว่า ความยาวช่วงก้าวลดลง 5.2% ($p<.05$) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับท่าทางในการวิ่งและลดระยะทางในการลอยตัว ทั้งนี้สรุปผลการวิจัยครั้งนี้ได้ว่าเมื่อทำการศึกษาผลฉับพลันจะพบว่าความยาวช่วงก้าวกับท่าทางในการวิ่งมีความสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตามผลระยะยาวของการฝึกวิ่งบนพื้นลาดเอียงต่างระดับกับการวิ่งในแนวราบนั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่ามีผลต่อลักษณะทางคิเนเมติคและท่าทางในการวิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรอบแนวคิดในการวิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีเป้าหมายเพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นระดับเยาวชน โดยผู้วิจัยได้ทำการนำเสนอขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 การศึกษาดังนี้

การศึกษาที่ 1 เป็นการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน

การศึกษาที่ 2 เป็นการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วในนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

รูปแบบการวิจัยในการศึกษาที่ 1

ประชากร

นักวิ่งระยะสั้น เพศชาย อายุระหว่าง 14-16 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย อายุระหว่าง 14-16 ปี ซึ่งได้จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งสิ้น 12 คน ใช้รูปแบบการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับ (Counterbalanced design) โดยกำหนดอำนาจการทดสอบ (Power) ที่ .80 และขนาดของผลที่จะเกิดขึ้น (Effect size) ที่ .50 (Cohen, 1988)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

1) เป็นนักวิ่งระยะสั้น อายุระหว่าง 14-16 ปี

2) ไม่มีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลต่อการฝึกของการวิจัย

3) ไม่ใช้สารกระตุ้น (Anabolic steroids) หรือสิ่งเสพติด

4) นักวิ่งระยะสั้นมีความแข็งแรงขั้นพื้นฐานที่สามารถแบกน้ำหนักย่อตัวให้เข่าทำมุม 90 องศาแล้วเหยียดขาขึ้นมาอยู่ในท่ายืนตรงได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของน้ำหนักตัว

5) มีความสมัครใจในการเข้าร่วมงานวิจัย และ ลงนามเข้าร่วมในใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1) ไม่สมัครใจที่จะเข้าร่วมการวิจัยต่อ

2) ไม่ได้เข้าร่วมการทดสอบ 1 ครั้งของระยะเวลาการทดสอบทั้งหมด (ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 4 สัปดาห์หรือ 4 ครั้ง)

3) เกิดเหตุสุดวิสัยที่ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เจ็บป่วย หรือ บาดเจ็บ เป็นต้น

ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการวิจัย

1) นำเสนอรูปแบบการศึกษามุมองศาที่แตกต่างกันของพื้นลาดเอียงด้วยการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดที่มีผลต่อความสามารถในการเร่งความเร็วไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเพื่อพิจารณาความสอดคล้องในการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency: IOC) ของความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity)

2) นำรูปแบบการศึกษารูปแบบการศึกษามุมองศาที่แตกต่างกันของพื้นลาดเอียงด้วยการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยแล้วจึงนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างการวิจัย

3) นำรูปแบบการศึกษารูปแบบการศึกษามุมองศาที่แตกต่างกันของพื้นลาดเอียงด้วยการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเสนอต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

4) การเข้าถึงกลุ่มตัวอย่างทำโดยการส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างจากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร (ดินแดง) สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล และมีการประสานงานกับผู้ฝึกสอน และนักกีฬาในการวางแผนในกระบวนการการทดสอบๆ เพื่อความเข้าใจตรงกัน

5) จัดเตรียมสถานที่ และอุปกรณ์ รวมทั้งประสานงานในการขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

6) ผู้วิจัยอธิบาย ชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างทราบเกี่ยวกับจุดมุ่งหมาย ประโยชน์และวิธีการฝึกตลอดจนปฏิทินของการวิจัย เมื่อกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างและผู้ปกครอง ลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย (Informed consent form)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย 3 คน จะเป็นผู้ดำเนินการทดสอบทุกครั้ง (ทีมวิจัยชุดเดิม) โดยสถานที่ทำการเก็บข้อมูลคือศูนย์การวิจัย ทดสอบ วิจัยวัสดุและอุปกรณ์ทางการกีฬา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(Testing research center for sport material and equipment : TREC) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) เก็บข้อมูลการวิจัย การศึกษาที่ 1 โดยศึกษาผลฉับพลัน (Acute effect) ของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกันที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 เก็บข้อมูลคุณลักษณะทั่วไป เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง อายุ เป็นต้น

2.2 ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว โดยเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกันคือ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา เพื่อหามุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการฝึกในการศึกษาที่ 2 ต่อไป

2.3 การวิจัยในการศึกษาที่ 1 ใช้รูปแบบการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับ ซึ่งกลุ่มตัวอย่าง 12 คน จะถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 3 คน ใช้เวลาในการทดสอบ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน โดยในแต่ละสัปดาห์กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะได้รับการทดสอบการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมองศาแตกต่างกันคือ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา โดยใช้ระยะทางในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด 10 เมตร โดยแต่ละเที่ยวใช้เวลาในการวิ่งประมาณ 5 วินาที ทำสลับกันในมุมที่แตกต่างกันไปทุก ๆ สัปดาห์จนครบทุกกลุ่ม นักกีฬาทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจำนวน 5 เที่ยวแต่ละเที่ยวพัก 5 นาที และนำข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมาหาค่าเฉลี่ย

2.4 กลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษา มีดังต่อไปนี้

2.4.1 Gastrocnemius medialis

2.4.2 Soleus

2.4.3 Tibialis anterior

2.4.4 Vastus lateralis

2.4.5 Rectus femoris

2.4.6 Biceps femoris

2.4.7 Semitendinosus

2.4.8 Gluteus maximus

2.4.9 Pectoralis major

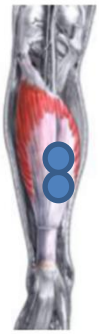
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 การเก็บข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมการทดลองด้วยแอลกอฮอลล์ พร้อมทั้งโกนขนที่อยู่ตามผิวหนังบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรด จากนั้นติดอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนัง (Surface measuring electrode) บริเวณกลุ่มกล้ามเนื้อตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังข้อ 2.4 ของขาข้างที่ถนัด

ตารางที่ 3 ตำแหน่งของการติดอิเล็กโทรด (Position of surface electrodes placements)

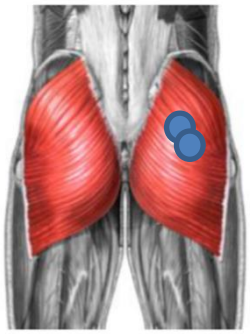
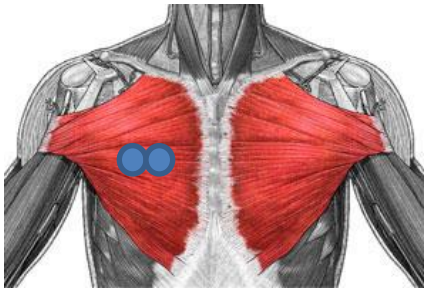
(ที่มา : Peter Konrad, 2006)

กล้ามเนื้อ	**ตำแหน่งของตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**
Gastrocnemius medialis	10 cm distal to popliteal fossa
Soleus	2 cm distal to the medial gastrocnemius and 2 cm medial to the posterior midline of the leg 

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อ	ตำแหน่งของตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
Tibialis anterior	15 cm distal to apex of patellae
Vastus lateralis	over the distal portion of the muscle belly
Rectus femoris	27 cm proximal to base of patellae

จุฬาลง
CHULALO

กล้ามเนื้อ	ตำแหน่งของตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
Biceps femoris	Midpoint of the muscle belly
Semitendinosus	Midpoint of the muscle belly
Gluteus maximus	10 cm distal to spina iliaca posterior sup at the direction of trochanter major 
Pectoralis major	

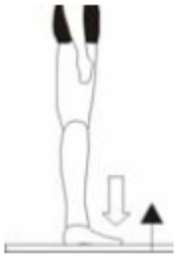
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มตัวอย่างทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (100% of Maximum voluntary contraction; 100% MVC) ของกล้ามเนื้อทุกมัดโดยให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อในแต่ละมัดเต็มที่และค้างไว้ 10 วินาทีด้วยท่าการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดที่แตกต่างกัน โดยท่าที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดมีดังต่อไปนี้

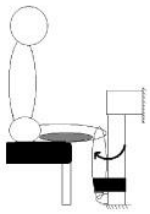
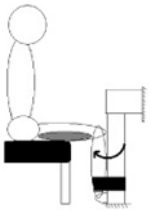
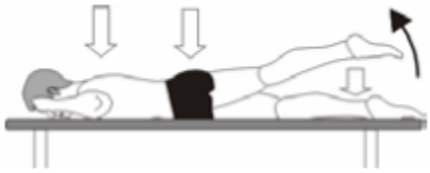
ตารางที่ 4 แสดงท่าที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (ที่มา : Peter Konrad, 2006)

กล้ามเนื้อ	**วิธีการและท่าที่ใช้ในการทดสอบ**
Gastrocnemius medialis	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนอุปกรณ์ฝึกยกน้ำหนักในท่า Leg press ให้ปลายเท้าอยู่ในส่วนล่างของแผ่นวางเท้าจากนั้นออกแรงเหยียดข้อเท้าในท่า Plantar flexion เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด
Soleus	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนอุปกรณ์ Seat calf raise จากนั้นกระดกเข่าปลายเท้าขึ้นแล้วแล้วเกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด

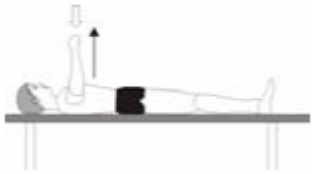
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALO

กล้ามเนื้อ	วิธีการและท่าที่ใช้ในการทดสอบ
Tibialis anterior	ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่าตรงโดยมีผู้ช่วยกดปลายเท้าลงจากนั้นผู้วิจัยออกแรงกระดกปลายเท้าในท่าDorsi-flexion ด้วยความพยายามสูงสุด เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาที 
Vastus lateralis	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้หลังตรงพิงพนักโดยมีผู้ช่วยจับข้อเท้าไว้จากนั้นผู้วิจัยออกแรงเหยียดขาในท่า Knee extension เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด
Rectus femoris	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้หลังตรงพิงพนักโดยมีผู้ช่วยจับข้อเท้าไว้จากนั้นผู้วิจัยออกแรงเหยียดขาในท่า Knee extension เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อ	วิธีการและท่าที่ใช้ในการทดสอบ
Biceps femoris	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้หลังตรงพิงพนักโดยมีผู้ช่วยจับข้อเท้าไว้จากนั้นผู้วิจัยออกแรงเหยียดขาในท่า Knee flexion เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด 
Semitendinosus	ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้หลังตรงพิงพนักโดยมีผู้ช่วยจับข้อเท้าไว้จากนั้นผู้วิจัยออกแรงเหยียดขาในท่า Knee flexion เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด 
Gluteus maximus	ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำเหยียดขาตรงมีผู้ช่วยจับข้อเท้าไว้จากนั้นผู้วิจัยออกแรงเหยียดขาในท่า Hip extension เกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาที ด้วยความพยายามสูงสุด 

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กล้ามเนื้อ	วิธีการและท่าที่ใช้ในการทดสอบ
Pectoralis major	ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายจับอุปกรณ์บาร์เบลในท่า Bench press ด้วยน้ำหนักที่ไม่สามารถยกได้แล้วเกร็งกล้ามเนื้อไว้เป็นเวลา 10 วินาทีด้วยความพยายามสูงสุด 

จากนั้นกลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงพร้อมบันทึกค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2.6 นำผลการทดสอบมากำหนดเป็นมุมสำหรับการฝึกในการศึกษาที่ 2

2.7 รวบรวมข้อมูล สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ ความคิดเห็นที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องวัดคลื่นกล้ามเนื้อไฟฟ้า EMG Cometa รุ่น Wave plus EMG wireless ผลิตโดยบริษัท S.R.L. ประเทศอิตาลี

2) โปรแกรมการวิเคราะห์คลื่นกล้ามเนื้อไฟฟ้า EMG Cometa รุ่น Wave plus EMG wireless ผลิตโดยบริษัท S.R.L. ประเทศอิตาลี

3) ทางวิ่งพื้นราบและทางวิ่งพื้นลาดเอียง Slope surface device) ที่มุมองศาแตกต่างกัน คือ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ข้อมูล

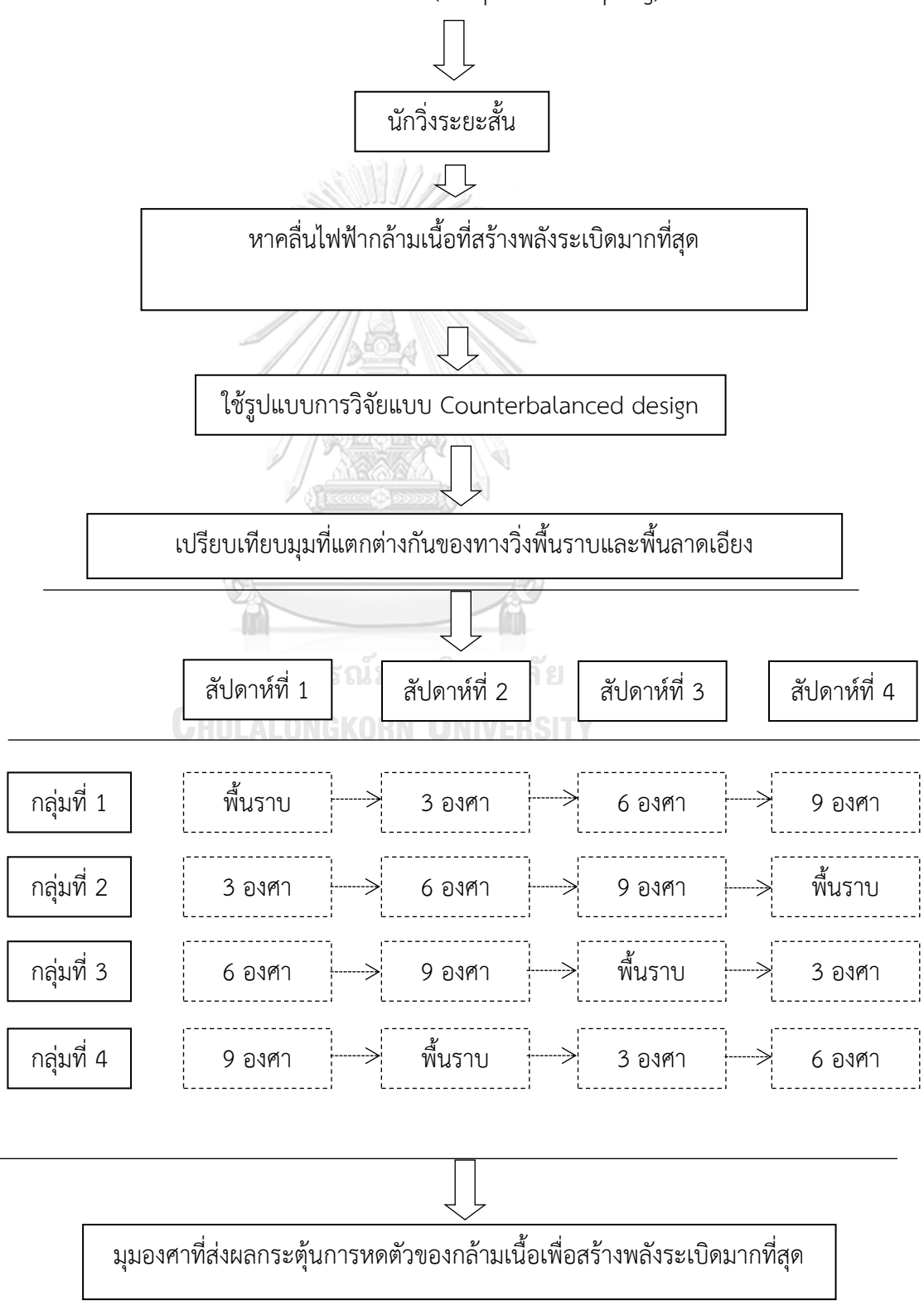
วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดที่มุมแตกต่างกันในนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าทางสถิติดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2) วิเคราะห์ผลของการทดสอบทุกรายการระหว่างกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One – way analysis of variance with repeated measure) และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำวิจัย

การศึกษาที่ 1 ศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน

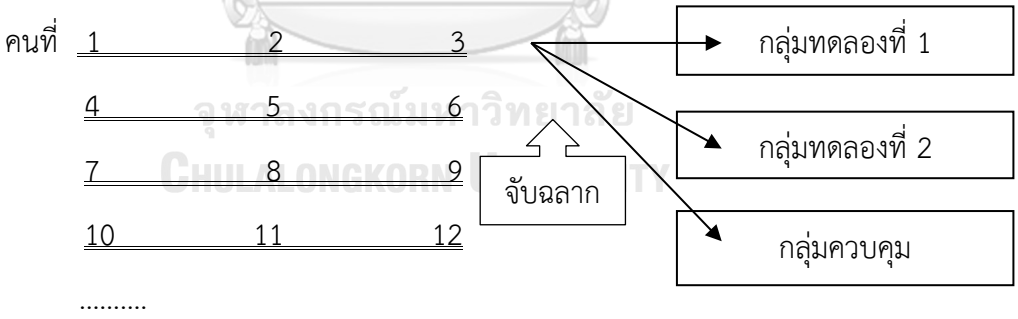


การศึกษาที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย อายุระหว่าง 14-16 ปี ซึ่งได้จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 40 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษาที่ 1 สามารถที่จะเข้าเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา 2 ได้ โดยจะต้องมีระยะเวลาที่เว้นจากการศึกษาที่ 1 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการคัดเลือกจากสถิติเวลาที่ผู้เข้ารับการทดสอบ ที่ระยะทาง 10 เมตรโดยผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนทำการทดสอบ 1 ครั้ง ณ โรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร (ดินแดง) แล้วเรียงลำดับจากอันดับที่ 1 ถึงอันดับที่ 30 เป็นกลุ่มตัวอย่าง

จากนั้นทำการจัดแบ่งกลุ่มด้วยการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) โดยเรียงตามลำดับความเร็วในการวิ่งของความสามารถในการเร่งความเร็วระยะทาง 10 เมตร ของแต่ละคนจาก ผู้ที่สามารถทำเวลาในการวิ่งได้น้อยที่สุดไปหามากที่สุดตามลำดับ แล้วจัดกลุ่มด้วยวิธีการจับฉลาก ทุกๆ 3 คน ดังนี้



จัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 10 คน โดยกำหนดอำนาจการทดสอบ (Power) ที่ .80 และขนาดของผลที่จะเกิดขึ้น (Effect size) ที่ .50 (Cohen, 1988)

กำหนดวิธีการทดลองให้แต่ละกลุ่มประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 หมายถึง กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง (Incline speed bounding group)

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มทดลองที่ 2 หมายถึง กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ (Horizontal speed bounding group)

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มควบคุม หมายถึง กลุ่มที่ฝึกซ้อมตามโปรแกรมการฝึกกรีฑาประเภทวิ่งระยะสั้นตามปกติเพียงอย่างเดียว ไม่ได้รับการฝึกเสริมใด ๆ (Control group)

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

1) เป็นนักวิ่งระยะสั้น อายุระหว่าง 14-16 ปี ที่ทำการฝึกซ้อมเพื่อการแข่งขัน
2) ไม่มีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลต่อการฝึกของการวิจัย
3) ไม่ใช้สารกระตุ้น (Anabolic steroids) หรือสิ่งเสพติด
4) นักวิ่งระยะสั้นมีความแข็งแรงขั้นพื้นฐานที่สามารถแบกน้ำหนักย่อตัวให้เข่าทำมุม 90 องศาแล้วเหยียดขาขึ้นมาอยู่ในท่ายืนตรงได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของน้ำหนักตัว
5) มีความสมัครใจในการเข้าร่วมงานวิจัย และ ลงนามเข้าร่วมในใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
6) ไม่มีการเข้าร่วมงานวิจัยอื่นหรือออกกำลังกายอื่น

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1) ไม่สมัครใจที่จะเข้าร่วมการวิจัยต่อ
2) เข้าร่วมงานวิจัยหรือการฝึกน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า 10 ครั้งของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด (6 สัปดาห์)
3) เกิดเหตุสุดวิสัยที่ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เจ็บป่วย หรือ บาดเจ็บ เป็นต้น

ขั้นตอนการวิจัย

1) ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษานำร่อง (Pilot study) โดยทดลองใช้รูปแบบการฝึกเพื่อศึกษาความเป็นไปได้
3) นำเสนอรูปแบบการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบแลบนพื้นลาดเอียงในมุมที่เหมาะสมให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเพื่อพิจารณาความสอดคล้องในการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency: IOC) ของความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยกำหนดคะแนนไว้ดังนี้

ถ้าระบุว่าเห็นด้วยหรือสอดคล้อง	ให้คะแนน +1
ถ้าระบุไม่แน่ใจ	ให้คะแนน 0
ถ้าระบุว่าไม่เห็นด้วยหรือไม่สอดคล้อง	ให้คะแนน -1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นำคำตอบของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมารวมกันเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง โดยใช้สูตรของ Revinelli and Hambleton (1997)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC = ดัชนีความสอดคล้อง

∑R = ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การกำหนดความสอดคล้อง ที่ค่าดัชนีความสอดคล้องที่คำนวณได้ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป หรือ ร้อยละ 60 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ถ้าในข้อใดมีค่าน้อยกว่าอาจตัดทิ้งหรือปรับปรุงตามข้อเสนอแนะและ การสนทนากลุ่มมาพิจารณาเพิ่มเติม

ค่าดัชนีมีความสอดคล้องระหว่าง 0.80-1.00 หมายความว่า มีความตรงระดับดีมาก

ค่าดัชนีมีความสอดคล้องระหว่าง 0.70-0.79 หมายความว่า มีความตรงระดับดี

ค่าดัชนีมีความสอดคล้องระหว่าง 0.50-0.69 หมายความว่า มีความตรงระดับยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องของโปรแกรมการฝึกที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ

เนื้อหา	ค่าดัชนีความสอดคล้อง
การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง	**IOC=0.86**
ขั้นที่ 1: การฝึกด้วยแรงต้าน	
1. ชนิดของการฝึกด้วยแรงต้านใช้การฝึกแบบแรงดันอากาศ	1
2. ท่าที่ใช้ในการฝึก โดยใช้ท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half squat)	0.8
3. ความหนักที่ใช้ในการฝึก 85 เปอร์เซ็นต์ของหนึ่งอาร์เอ็ม	1
4. จำนวนครั้งต่อชุดของการฝึก จำนวน 3 ครั้ง	1
5. จังหวะในการยกน้ำหนัก เร็วที่สุด	1
6. ระยะเวลาการพักภายในชุด 30 วินาที	1
ขั้นที่ 2 : การฝึกด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด	
7. ท่าที่ใช้ในการฝึกใช้การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจากที่ยันเท้า (Speed Bounding from starting block)	0.6
8. ความหนักของการฝึก วิ่งด้วยความพยายามสูงสุดให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้บนพื้นลาดเอียง	1
9. ระยะทางในการวิ่ง 10 เมตร	1
สรุปโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อน	
10.ระยะเวลาการพักระหว่างชุด 3 –5 นาที	0.8
11. จำนวนชุดของโปรแกรมการฝึก จำนวน 5 ชุด	0.6
12. ความถี่ของโปรแกรมการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์	0.8
13. ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึกจำนวนทั้งสิ้น 8 สัปดาห์	0.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื้อหา	ค่าดัชนีความสอดคล้อง
การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ	**IOC=0.87**
ขั้นที่ 1: การฝึกด้วยแรงต้าน	
1. ชนิดของการฝึกด้วยแรงต้านใช้การฝึกแบบแรงดันอากาศ	1
2. ท่าที่ใช้ในการฝึก โดยใช้ท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half squat)	0.8
3. ความหนักที่ใช้ในการฝึก 85 เปอร์เซ็นต์ของหนึ่งอาร์เอ็ม	1
4. จำนวนครั้งต่อชุดของการฝึก จำนวน 3 ครั้ง	1
5. จังหวะในการยกน้ำหนัก เร็วที่สุด	1
6. ระยะเวลาการพักภายในชุด 30 วินาที	1
ขั้นที่ 2 : การฝึกด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด	
7. ท่าที่ใช้ในการฝึกใช้การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจากที่ยันเท้า (Speed bounding from starting block)	0.8
8. ความหนักของการฝึก วิ่งด้วยความพยายามสูงสุดให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้บนพื้นราบ	1
9. ระยะทางในการวิ่ง 10 เมตร	1
สรุปโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อน	
10.ระยะเวลาการพักระหว่างชุด 3 –5 นาที	0.8
11. จำนวนชุดของโปรแกรมการฝึก จำนวน 5 ชุด	0.6
12. ความถี่ของโปรแกรมการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์	0.8
13. ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึกจำนวนทั้งสิ้น 8 สัปดาห์	0.6

หมายเหตุ: ได้มีการแก้ไข ปรับปรุง ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิและอาจารย์ที่ปรึกษาเสนอแนะในเรื่องท่าที่ใช้ในการออกตัวของการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจากเดิมออกตัวด้วยที่ยันเท้าเป็นออกตัวด้วยท่า 3 point start จำนวนชุดของโปรแกรมการฝึกจากเดิมจำนวน 5 ชุด เป็น 4 ชุด และระยะเวลาของโปรแกรมการฝึกจำนวนทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ เป็น 6 สัปดาห์

4) นำเสนอรูปแบบการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยแล้วจึงนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างการวิจัย

5) นำเสนอรูปแบบการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงในมุมองศาที่เหมาะสมเสนอต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

6) ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างจากโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร (ดินแดง) สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลและการทดลอง โดยมีการประสานงานกับผู้ฝึกสอน ในการวางแผนการทดสอบและการฝึก

7) ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ใช้สถานที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลและการทดลอง

8) จัดเตรียมสถานที่ และอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

9) ผู้วิจัยอธิบาย ชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างทราบเกี่ยวกับจุดมุ่งหมาย ประโยชน์และวิธีการฝึกตลอดจนปฏิทินของการวิจัย เมื่อกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างและผู้ปกครองลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย (Informed consent form)

ขณะทำการทดลอง

ทำการฝึกตามโปรแกรมของแต่ละกลุ่มโดยกลุ่มผู้เข้าร่วมงานวิจัยฝึกตามโปรแกรมเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน คือ วันจันทร์และวันพฤหัสบดี ระหว่างเวลา 16.30 -18.30 น. โดยสถานที่ทำการฝึกซ้อมคือศูนย์การวิจัย ทดสอบ วิจัยวัสดุและอุปกรณ์ทางการกีฬา (Testing research center for sport material and equipment : TREC) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย 3 คน เป็นผู้ทำการฝึกด้วยทีมวิจัยชุดเดิมทุกครั้งตลอดช่วงการฝึก 6 สัปดาห์ โดยมีการประสานงาน และวางแผนการฝึกร่วมกับผู้ฝึกสอนรวมทั้งขอความร่วมมือจากโรงเรียนให้กลุ่มตัวอย่างได้ฝึกซ้อมตามโปรแกรมการฝึกของแต่ละกลุ่มอย่างเคร่งครัด โดยไม่กระทบต่อเวลาเรียนของนักกีฬา โปรแกรมการฝึกของแต่ละกลุ่มคือ

1. โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง (ภาคผนวก ญ)

2. โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ (ภาคผนวก ฎ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย 3 คน เป็นผู้บันทึกผลการทดสอบและทำการฝึกโดยผู้ช่วยวิจัยชุดเดิมทุกครั้ง กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดจากผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยที่มีการฝึกให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยทำการทบทวนในกระบวนการ ขั้นตอนและวิธีการในการเก็บข้อมูลและการฝึกจากผู้วิจัยทุกวันเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้ง

2) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจำนวน 2 ครั้ง คือ

การทดสอบครั้งที่ 1 (Pre-test) เป็นการทดสอบก่อนการทดลอง

การทดสอบครั้งที่ 2 (Post-test) เป็นการทดสอบหลังการการทดลองสัปดาห์ที่ 6

โดยทดสอบความสามารถในการเร่งความเร็ว ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

- ความเร็ว (Velocity) จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร
- พลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power)
    - พลังสูงสูด (Peak power)
        - แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force)
        - ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity)
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)
    - ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า
    - ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า
- ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท
    - H-reflex - Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และกล้ามเนื้อ Soleus
    - Mmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และ กล้ามเนื้อ Soleus

3) รวบรวมข้อมูล สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ ความคิดเห็นที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.1) เครื่องวัดความสามารถในการเร่งความเร็ว (Timing gates) รุ่น Swift Speed light ผลิตโดยบริษัท Swift performance ประเทศออสเตรเลีย

1.2) เครื่องทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (FT-700 Power system) ผลิตโดยบริษัท Fitness Technology ประเทศออสเตรเลีย

1.3) ซอฟต์แวร์วิเคราะห์พลังของกล้ามเนื้อ Ballistic Measurement System เวอร์ชั่น 2011 ผลิตโดยบริษัท Fitness Technology ประเทศออสเตรเลีย

1.4) เครื่องทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum strength test) โดยเครื่องฝึกกล้ามเนื้อด้วยแรงดันอากาศ ยี่ห้อ Keiser รุ่น A 300 squat model1531 ผลิตโดยบริษัท Keiser corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.5) เครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อ Physiomed รุ่น CON-TREX multiple joint system pro 3 ผลิตโดยบริษัท physiomed AG ประเทศเยอรมนี

1.6) เครื่องวัดความสามารถในการนำสัญญาณประสาท รุ่น MP36 และเครื่องกระตุ้นไฟฟ้ารุ่น Human-Safe Stimulator STMHUM ผลิตโดยบริษัท BIOPAC Systems Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.7) ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท the AcqKnowledge 4.1 (BIOPAC Systems, Inc., Goleta, CA, USA)

2) เครื่องมือที่ใช้ในการฝึก

2.1) โปรแกรมการฝึก (Training program) (ภาคผนวก ญ และ ฎ)

2.2) เครื่องฝึกกล้ามเนื้อด้วยแรงดันอากาศ ยี่ห้อ Keiser ผลิตโดยบริษัท Keiser corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3) ทางวิ่งพื้นลาดเอียง (Slope surface device)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าทางสถิติ ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2) ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of congruency: IOC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) วิเคราะห์ผลของการทดสอบทุกรายการระหว่างกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One – way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Turkey) โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

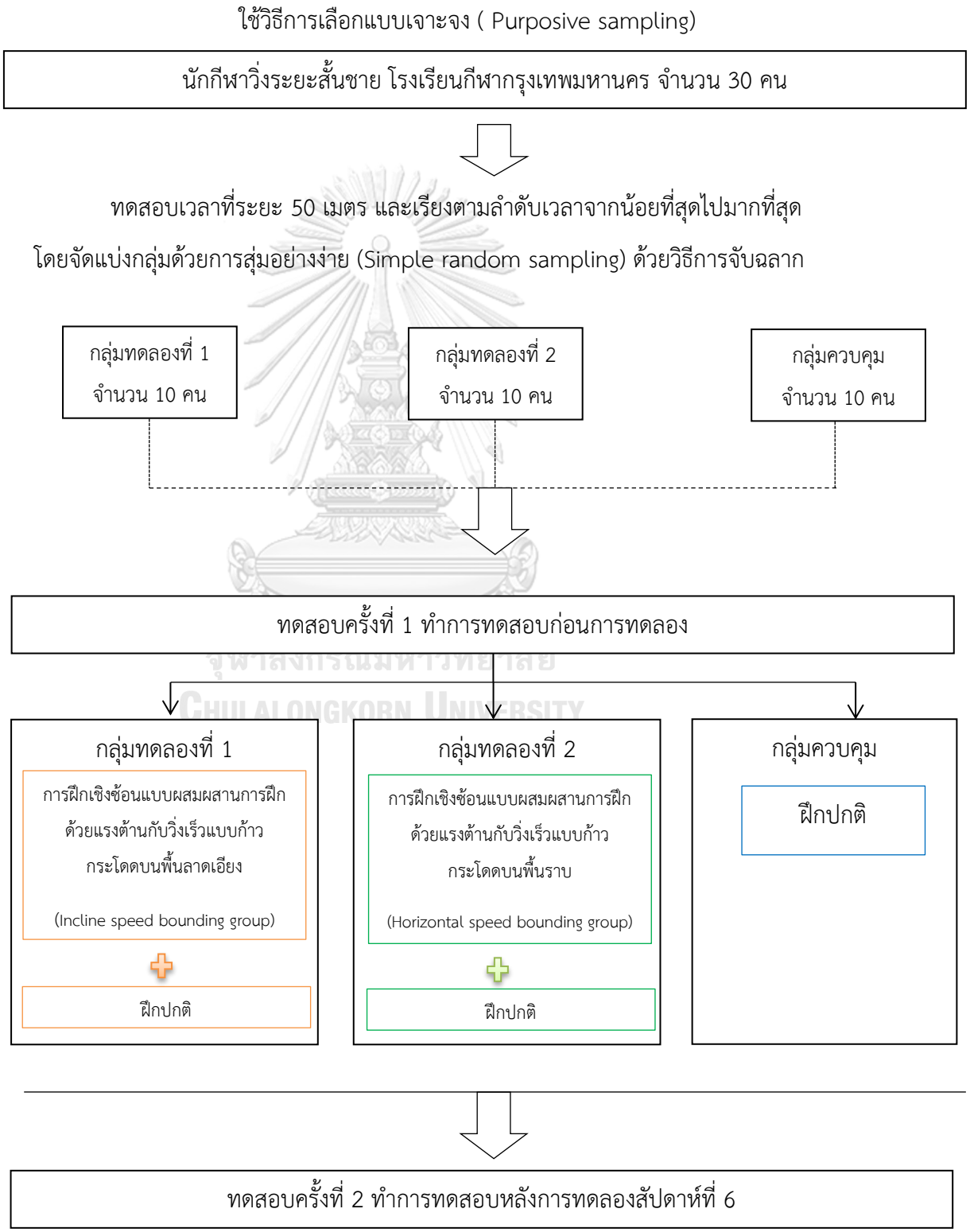
4) วิเคราะห์เปรียบเทียบภายในกลุ่มโดยการวิเคราะห์ ค่า Paired t-test

5) กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำวิจัย

การศึกษาที่ 2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี



ทางวิ่งพื้นลาดเอียงขึ้น (Slope surface device)

อาจารย์ที่ปรึกษาในการสร้างเครื่องมือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์

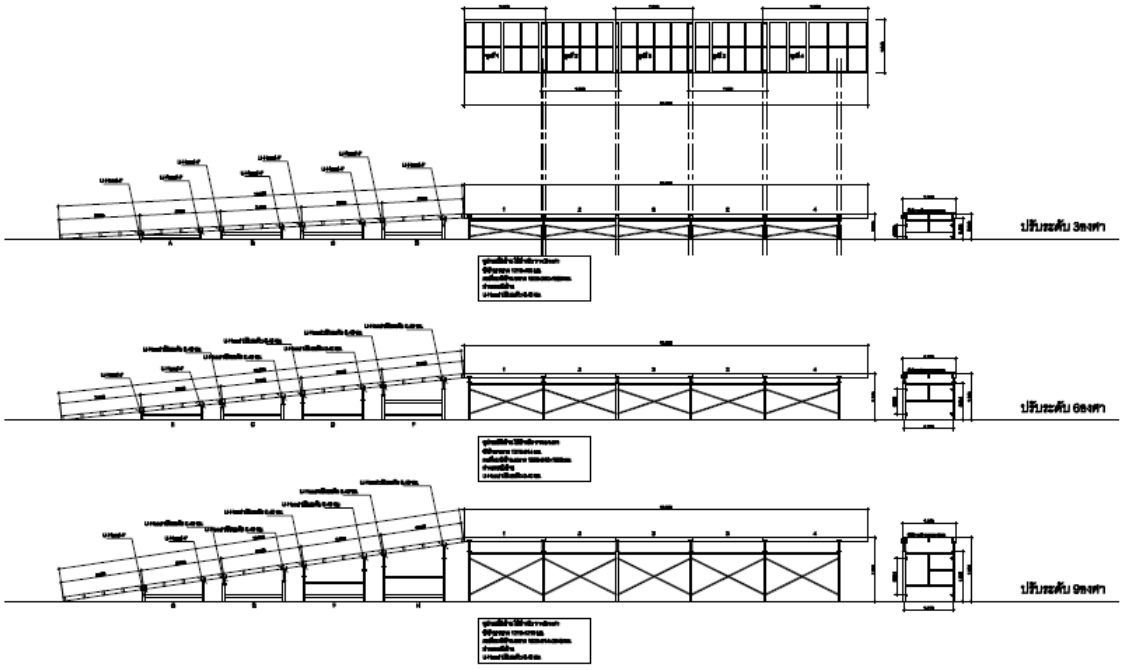
ผู้ช่วยเหลือในการออกแบบ สร้าง และปรับปรุงเครื่องมือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์

นายสุดเขต กองจินดา วิศวกรและผู้ออกแบบ ภย.501050

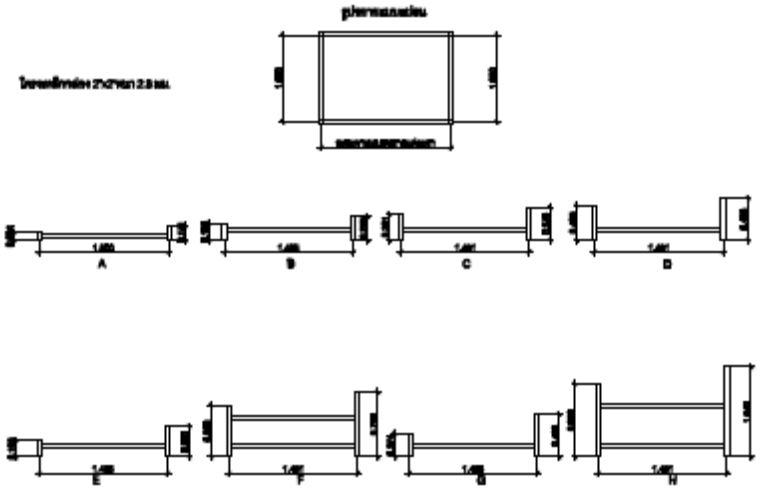
ส่วนประกอบของเครื่องมือ

โครงสร้างของทางวิ่งพื้นลาดเอียงขึ้นนั้นสามารถถอดประกอบเพื่อให้มีความแตกต่างของมุมองศาของทางวิ่งได้ คือมุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา โดยโครงสร้างพื้นฐานหลักประกอบด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 50x50x2.3 มิลลิเมตร ขานั่งร้าน กากบาทนั่งร้าน บนทางวิ่งวางด้วยวีว่าบอร์ด Viva board ความหนา 20 มิลลิเมตร มีพื้นยางแผ่น 1 หุน มีผ้า ตลอดทางวิ่ง ซึ่งในแต่ละมุมสามารถประกอบตามรูปแบบ ดังภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10



ภาพที่ 9 แสดงมุมมองด้านข้างของทางวิ่งพื้นลาดเอียง ประกอบด้วยมุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ทั้งนี้โครงสร้างฐานของทางลาดเอียงในแต่ละมุมมีแบบที่แตกต่างกันไปในแต่ละมุมดังแสดงตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงแบบขยายโครงเหล็กรับแนวพื้นเอียง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องการพัฒนารูปแบบการฝึกเชิงซ้อนเพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น อายุ 14-16 ปี ในครั้งนี้มี 2 การศึกษา โดยในการศึกษาที่ 1 นั้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน และในการศึกษาที่ 2 ผู้วิจัยได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็ว โดยทำการเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง กลุ่มทดลองที่ 2 กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ และกลุ่มควบคุม จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้วนำเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียงและแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ตอนที่ 1.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 1.2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ตอนที่ 1.3 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วและความสามารถในการนำสัญญาณประสาทในนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

ตอนที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2.2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตอนที่ 2.3 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม ที่ 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ตอนที่ 1.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 1

จำนวนผู้เข้าร่วมวิจัย = 12 คน	$\bar{X}$ ± S.D.
อายุ (ปี)	15.75 ± 0.45
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	59.25 ± 4.90
ส่วนสูง (เมตร)	1.72 ± 0.06

จากตารางที่ 6 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 1 คือนักวิ่งระยะสั้น เพศชาย โรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 12 คน มีอายุเฉลี่ย 15.75 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 59.25 กิโลกรัม และส่วนสูงเฉลี่ย 1.72 เมตร

ตอนที่ 1.2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

ตารางที่ 7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

มุมองศา / EMG Amplitude (%MVC)	พื้นราบ	3 องศา	6 องศา	9 องศา	F	p-value
	$\bar{X}$ ± S.D.	$\bar{X}$ ± S.D.	$\bar{X}$ ± S.D.	$\bar{X}$ ± S.D.		
Gastrocnemius medialis	74.25 ± 3.84	78.37 ± 3.46	81.64 ± 5.66#	85.78 ±4.87 ¶†	24.858	0.00*
Soleus	192.55 ± 5.87	197.29 ± 5.28*	218.90 ± 7.39Δ#	225.62 ± 4.68 ¶†β	72.922	0.00*
Tibialis anterior	20.07 ± 2.01	23.21 ± 1.34*	23.66 ± 1.19 #	25.44 ± 1.69 ¶†	16.935	0.00*
Vastus lateralis	192.97 ± 12.13	209.37 ± 6.57*	213.53 ± 6.86#	230.73 ± 8.03 ¶†β	46.741	0.00*
Rectus femoris	94.61 ± 9.09	114.99 ± 5.12*	123.90 ± 4.33Δ#	128.57 ± 4.47 ¶†β	41.837	0.00*
Biceps femoris	117.84 ± 8.44	113.73 ± 9.17	106.15 ± 10.16Δ#	96.29 ± 8.25 ¶†	24.996	0.00*
Semitendinosus	45.14 ±3.57	41.61 ± 3.82*	38.24 ± 2.58Δ#	34.78 ± 3.40 ¶†	20.130	0.00*
Gluteus maximus	107.00 ± 6.75	112.61 ± 5.69*	126.61 ± 3.77Δ#	133.37 ± 7.36 ¶†β	61.527	0.00*
Pectoralis major	17.47 ± 8.17	20.31 ± 5.43	31.32 ±4.36Δ#	44.23 ± 9.11 ¶†β	15.333	0.00*

*P <.05

* มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Δ มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 7 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นราบและพื้นลาดเอียงที่มุม 6 องศา และ 9 องศา กล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื้อส่วนใหญ่มีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ยกเว้นกล้ามเนื้อ Biceps femoris และ Semitendinosus พบว่ามีการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อมุมองศาเพิ่มมากขึ้น

กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 74.25 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 78.37 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 81.64 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 85.78 เปอร์เซ็นต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 3 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกันกับพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Soleus มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 192.55 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 197.29 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 218.90 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 225.62 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด มากกว่าพื้นราบและมุม 3 องศา อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้มุม 3 องศายังมีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 20.07 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 23.21 เปอร์เซ็นต์มุม 6 องศา เท่ากับ 23.66 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 25.44 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบ และ มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 3 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กล้ามเนื้อ Vastus lateralis มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 192.97 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 209.37 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 213.53 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 230.73 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด มากกว่าพื้นราบ อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 3 องศา และ 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กล้ามเนื้อ Rectus femoris มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 94.61 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 114.99 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 123.90 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 128.57 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบ อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 3 องศา และ 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ มุม 6 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Biceps femoris มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 117.84 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 113.73 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 106.15 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 96.29 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบและมุม 3 องศา ส่วนมุม 3 องศาไม่แตกต่างกันกับพื้นราบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กล้ามเนื้อ Semitendinosus มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 45.14 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 41.61 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 38.24 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 34.78 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบและมุม 3 องศา นอกจากนี้ มุม 3 องศาแสดงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 107.00 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 112.61

เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 126.61 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 133.37 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากกว่าพื้นราบและมุม 3 องศา อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้มุม 3 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Pectoralis major มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 17.47 เปอร์เซ็นต์ มุม 3 องศา เท่ากับ 20.31 เปอร์เซ็นต์ มุม 6 องศา เท่ากับ 31.32 เปอร์เซ็นต์ และมุม 9 องศา เท่ากับ 44.23 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า มุม 6 องศา และ 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด มากกว่าพื้นราบและมุม 3 องศา อีกทั้ง มุม 9 องศา มีค่ามากกว่ามุม 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกันกับพื้นราบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 แสดงระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด (Time to peak) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

มุมองศา / Time to peak EMG (msec)	พื้นราบ	3 องศา	6 องศา	9 องศา	F	p-value.
	$\bar{x}$ ± S.D.	$\bar{x}$ ± S.D.	$\bar{x}$ ± S.D.	$\bar{x}$ ± S.D.		
Gastrocnemius medialis	32.12 ± 11.83	42.94 ± 12.82*	43.70 ± 12.72	44.54 ± 6.68	7.131	.009*
Soleus	35.24 ± 6.85	40.33 ± 7.96	43.76 ± 8.74#	56.57 ± 13.86 ¶† β	10.919	.002*
Tibialis anterior	34.59 ± 12.05	43.71 ± 12.59	49.99 ± 18.40#	59.07 ± 23.03 ¶	5.936	.016*
Vastus lateralis	25.64 ± 10.30	36.19 ± 10.72*	48.45 ± 10.54 #	53.15 ± 16.33 ¶†	18.024	.000*
Rectus femoris	40.70 ± 12.05	48.70 ± 13.27	55.43 ± 13.51#	66.14 ± 17.71 ¶†	8.836	.005*
Biceps femoris	32.92 ± 7.29	39.52 ± 10.46	47.51± 11.12#	58.97 ± 21.16 ¶†	11.814	.002*
Semitendinosus	38.14 ± 7.74	41.54 ± 14.95	51.12 ± 10.87#	67.46 ± 13.08 ¶† β	35.901	.000*
Gluteus maximus	27.40 ± 12.12	29.74 ± 17.04	44.94 ± 14.25#	47.47 ± 20.35 ¶	7.043	.010*
Pectoralis major	43.37 ± 16.04	53.30 ± 15.81	59.97 ± 12.37	86.30 ± 28.74 ¶† β	18.733	.000*

*P <.05

CHULALONGKORN UNIVERSITY

* มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 8 พบว่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด (Time to peak) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นราบและพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา มีความแตกต่างกันเฉพาะกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Vastus lateralis

และมุม 6 องศา นั้นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ ขณะที่มุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบในกล้ามเนื้อเกือบทุกมัดยกเว้น กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis โดยกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis มีระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุดน้อยที่สุด ในทางตรงกันข้ามกล้ามเนื้อ Pectoralis major มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบในกล้ามเนื้อมัดเดียวกันระหว่างมุมองศาที่แตกต่างกัน

กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 32.12 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 42.94 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 43.70 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 44.54 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ องศา 6 องศา และ 9 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 3 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Soleus มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 35.24 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 40.33 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 43.76 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 56.57 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ และมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ มุม 3 องศา และ 6 องศา นอกจากนี้ยังพบว่ามุม 6 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 34.59 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 43.71 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 49.99 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 59.07 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ และมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 6 องศา และ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อ Vastus lateralis มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 25.64 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 36.19 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 48.45 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 53.15 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ อีกทั้งมุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Rectus femoris มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 40.70 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 48.70 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 55.43 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 66.13 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบและมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 6 องศาและ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ อีกทั้งมุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Biceps femoris มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 32.92 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 39.52 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 47.51 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 58.97 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบและมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 6 องศาและ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ อีกทั้งมุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Semitendinosus มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 38.15 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 41.53 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 51.12 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 67.46 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบและมุม 3 องศาไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 6 องศาและ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ อีกทั้งมุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับมุม 3 องศาและ 6 องศา

กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 27.40 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 29.74 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 44.94 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 47.47 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ และมุม 3 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 6 องศา และ 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Pectoralis major มีค่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ เท่ากับ 43.37 msec มุม 3 องศา เท่ากับ 53.30 msec มุม 6 องศา เท่ากับ 59.97 msec และมุม 9 องศา เท่ากับ 86.30 msec เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ มุม 3 องศา และ 6 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ มุม 3 องศา และ 6 องศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 แสดงอัตราพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

มุมองศา / Rate of EMG development (mV/s)	พื้นราบ	3 องศา	6 องศา	9 องศา	F	p-value
	$\overline{X}$ ± S.D.	$\overline{X}$ ± S.D.	$\overline{X}$ ± S.D.	$\overline{X}$ ± S.D.		
Gastrocnemius medialis	16.44 ± 7.89	17.60 ± 5.04	19.98 ± 7.50	34.33 ± 15.42 ¶† β	5.525	0.020*
Soleus	17.07 ± 11.91	18.95 ± 8.85	19.62 ± 6.13	23.43 ± 7.52	1.500	0.280
Tibialis anterior	5.69 ± 2.89	8.96 ± 6.96	7.41 ± 3.53	14.32 ± 7.89 ¶	6.559	0.012*
Vastus lateralis	28.12 ± 11.06	30.36 ± 9.61	39.06 ± 13.80Δ #	54.17 ± 20.87 ¶†	10.706	0.003*
Rectus femoris	14.67 ± 6.35	17.04 ± 5.26	20.86 ± 5.86#	29.53 ± 12.31¶†β	6.130	0.015*
Biceps femoris	8.19 ± 5.05	10.34 ± 6.57	12.00 ± 2.12#	17.10 ± 5.61 ¶	12.146	0.002*
Semitendinosus	7.35 ± 1.83	11.49 ± 6.03	12.17 ± 4.57	16.74 ± 5.50 ¶†	9.087	0.004*
Gluteus maximus	27.54 ± 11.64	36.01 ± 12.01	43.55 ± 10.77Δ #	57.29 ± 16.53 ¶†	25.229	0.000*
Pectoralis major	3.22 ± 3.20	3.95 ± 3.04	5.82 ± 6.12	7.22 ± 4.19 ¶	5.906	0.016*

*P <.05

\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Δ มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 9 และแผนภูมิที่ 3 พบว่าอัตราพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Rate of EMG development) ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา กล้ามเนื้อเนื้อส่วนใหญ่แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ยกเว้น กล้ามเนื้อ Soleus เพียงมัดเดียวที่ไม่แตกต่างกัน

กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบเท่ากับ 17.07 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 17.60 mVolt/s มุม 6 องศา 19.98 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 34.33 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่าระหว่างพื้นราบ

มุม 3 องศา และ 6 องศา ไม่แตกต่างกัน ขณะที่มุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกมุมองศา

กล้ามเนื้อ Soleus มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 0.17 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 18.95 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 19.62 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 23.43 mVolt/s ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบทุกมุมองศา

กล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 5.69 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 8.96 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 7.41 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 14.32 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ เพียงมุมเดียวเท่านั้น

กล้ามเนื้อ Vastus lateralis มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 28.12 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 30.36 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 39.06 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 54.17 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศา และมุม 6 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ และมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Rectus femoris มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 14.67 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 17.04 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 20.86 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 29.53 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับบนพื้นราบ มุม 3 องศาและมุม 6 องศา นอกจากนี้ยังพบว่ามุม 6 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

กล้ามเนื้อ Biceps femoris มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 8.19 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 10.34 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 12.00 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 17.10 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศาและมุม 6 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อ Semitendinosus มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 7.35 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 11.49 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 12.17 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 16.74 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ และมุม 3 องศา

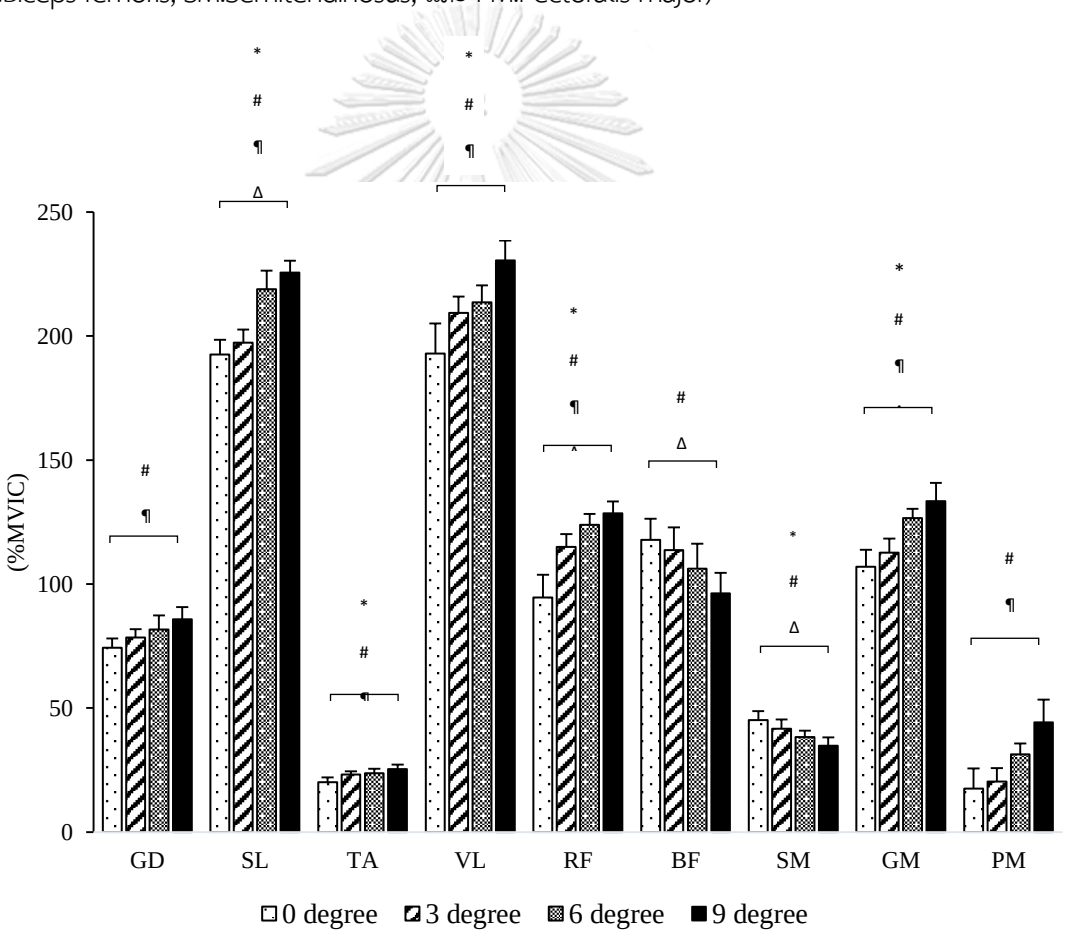
กล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 27.54 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 36.01 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 43.55 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 57.29 mVolt/s เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่ามุม 9 องศา และมุม 6 องศาแสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบ และมุม 3 องศา

กล้ามเนื้อ Pectoralis major มีค่าอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบ เท่ากับ 3.22 mVolt/s มุม 3 องศา เท่ากับ 3.95 mVolt/s มุม 6 องศา เท่ากับ 5.82 mVolt/s และมุม 9 องศา เท่ากับ 7.22 mVolt/s โดยพบว่ามุม 9 องศา แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นราบเพียงมุมเดียวเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา

แผนภูมิที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา (GM:Gluteus maximus, RF:Rectus femoris, VL:Vastus lateralis, GD:Gastrocnemius medialis, SL:Soleus, TA:Tibialis anterior, BF:Biceps femoris, SM:Semitendinosus, และ PM:Pectoralis major)



* มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

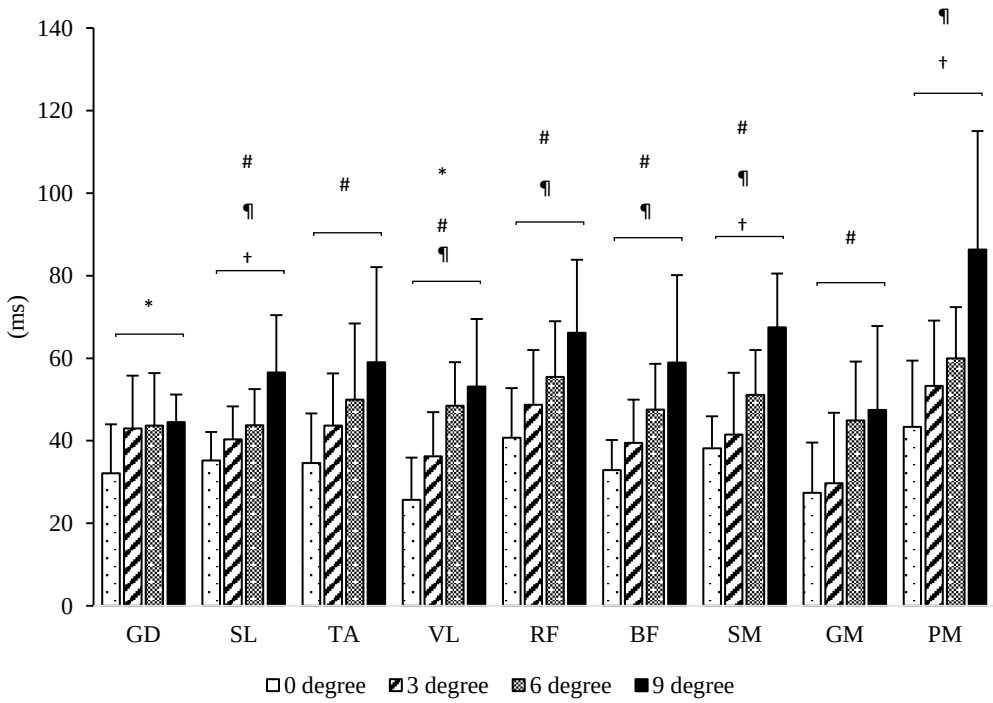
¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Δ มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แผนภูมิที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา



* มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

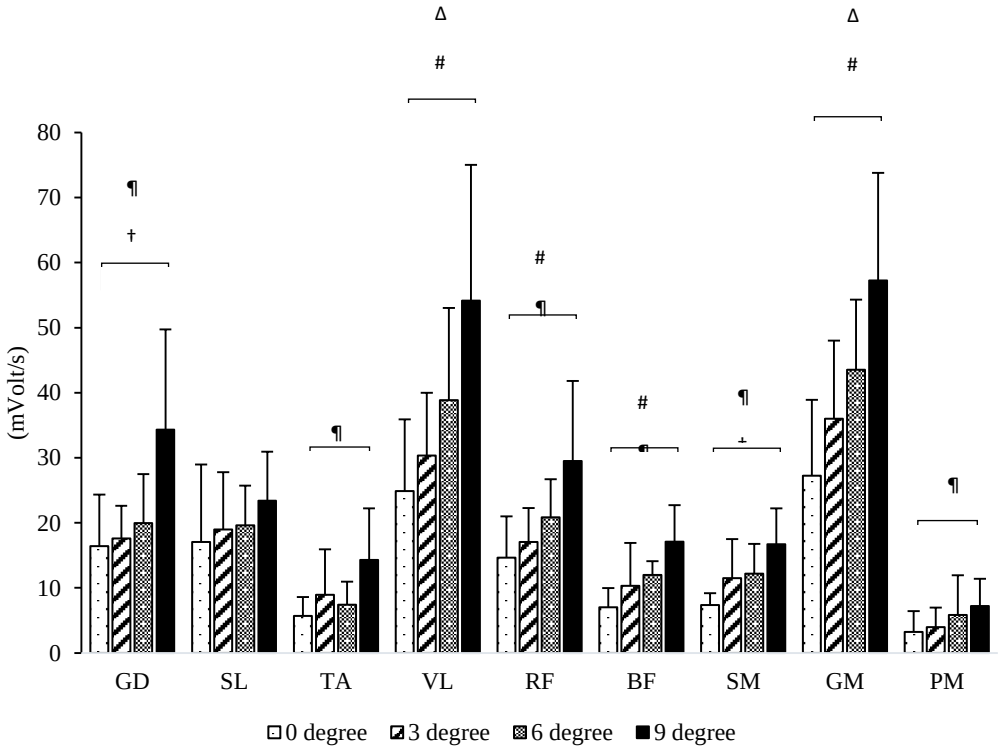
¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา



\# มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Δ มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

¶ มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบ และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 3 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างมุมองศาที่ 6 และ มุมองศาที่ 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี

ตอนที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 2

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 2 คือนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย โรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน

	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม		F	p
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
อายุ (ปี)	15.30	0.95	15.50	0.71	15.20	0.92	0.312	0.735
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	56.38	8.11	55.91	8.85	56.94	14.86	0.022	0.978
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	168.23	7.94	166.93	7.33	168.47	9.21	0.102	0.903
ความเร็วระยะ 10 เมตร (วินาที)	2.11	0.20	2.12	0.16	2.12	0.14	0.014	0.986

P >.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างของการศึกษาที่ 2 คือนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย โรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีอายุเฉลี่ย 15.30 ปี 15.50 ปี และ 15.20 ปี ตามลำดับ มีน้ำหนักเฉลี่ย 56.38 กิโลกรัม 55.91 กิโลกรัม และ 56.94 กิโลกรัม ตามลำดับ มีส่วนสูงเฉลี่ย 168.23 เซนติเมตร 166.93 เซนติเมตร และ 168.47 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความเร็วระยะ 10 เมตร เท่ากับ 2.11 วินาที 2.11 วินาที และ 2.12 วินาที ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และความเร็วระยะ 10 เมตรไม่แตกต่างกัน

ตอนที่ 2.2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ ของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง						F	P-value
	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ความเร็ว 0-10 เมตร (เมตร/วินาที)	5.47	0.27	5.53	0.27	5.45	0.42	0.140	0.870
2. ความเร็ว 0-20 เมตร (เมตร/วินาที)	6.35	0.32	6.37	0.34	6.37	0.39	0.016	0.984
3. ความเร็ว 0-30 เมตร (เมตร/วินาที)	6.85	0.38	6.93	0.40	6.90	0.41	0.093	0.911
4. ความเร็ว 0-40 เมตร (เมตร/วินาที)	7.15	0.44	7.24	0.44	7.23	0.46	0.119	0.888
5. ความเร็ว 0-50 เมตร (เมตร/วินาที)	7.35	0.51	7.48	0.50	7.44	0.49	0.179	0.837
6. พลังสูงสูด (วัตต์/กิโลกรัม)	54.31	8.79	55.43	8.50	52.43	7.51	0.335	0.718
7. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตัน/กิโลกรัม)	45.02	9.80	46.11	7.04	46.61	11.61	0.171	0.844
8. ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (เมตร/วินาที)	2.78	0.24	2.80	0.13	2.76	0.20	0.621	0.903
9. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	149.29	24.84	150.24	21.43	146.08	18.07	0.102	0.904
10. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	94.94	14.97	96.82	11.26	92.71	9.51	0.288	0.752
11. Mmax กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis (มิลลิโวลต์)	5.74	3.01	5.69	1.89	5.39	1.32	0.077	0.926

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง						F	P-value
	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
12. Hmax กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis (มิลลิโวลต์)	1.60	0.35	1.67	0.45	1.54	0.42	0.240	0.788
13. Mmax กล้ามเนื้อ Soleus (มิลลิโวลต์)	3.13	0.49	3.03	0.86	3.05	0.84	0.051	0.950
14. Hmax กล้ามเนื้อ Soleus (มิลลิโวลต์)	1.70	0.22	1.72	0.93	1.62	0.34	0.090	0.915

P >.05

จากตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 5.47 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 5.33 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.45 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตรของกลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 6.35 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.37 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 6.37 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 6.85 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.93 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 6.90 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 7.15 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 7.24 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 7.23 เมตรต่อวินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 7.35 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 7.48 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 7.44 เมตรต่อวินาที

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน

ด้านพลังของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลองค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 54.31 วัตต์ต่อกิโลกรัม กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 55.43 วัตต์ต่อกิโลกรัม และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 52.43 วัตต์ต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของพลังสูงสุด ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ในส่วนของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในแนวดิ่งสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 45.02 นิวตันต่อกิโลกรัม กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 46.11 นิวตันต่อกิโลกรัม และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 46.61 นิวตันต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ก่อนการทดลอง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ในส่วนของความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 2.78 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 2.80 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 2.76 เมตรต่อวินาที ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลองค่าเฉลี่ย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 149.29 นิวตันเมตร กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 150.24 นิวตันเมตร และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 146.08 นิวตันเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ก่อนการทดลอง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 94.94 นิวตันเมตร กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 96.82 นิวตันเมตร และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 92.71 นิวตันเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ด้านความสามารถในการนำสัญญาณประสาท ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 5.74 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 5.69 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.39 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนของค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 3.13 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 3.03 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 3.05 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ

Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ในส่วนของค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 1.60 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 1.67 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.54 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนของค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 1.70 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 1.72 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.62 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลองของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6

ตัวแปร	หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6						F	p-value
	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม			
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1. ความเร็ว 0-10 เมตร (เมตร/วินาที)	6.21	0.23	5.89	0.27	5.55	0.37	12.66	0.000*
2. ความเร็ว 0-20 เมตร (เมตร/วินาที)	6.89	0.25	6.79	0.37	6.40	0.39	5.45	0.010*
3. ความเร็ว 0-30 เมตร (เมตร/วินาที)	7.16	0.25	7.00	0.44	6.97	0.36	0.823	0.450
4. ความเร็ว 0-40 เมตร (เมตร/วินาที)	7.44	0.34	7.33	0.42	7.24	0.40	0.685	0.513
5. ความเร็ว 0-50 เมตร (เมตร/วินาที)	7.62	0.39	7.55	0.45	7.50	0.44	0.188	0.830
6. พลังสูงสูด (วัตต์/กิโลกรัม)	64.21	5.37	60.84	5.75	54.27	6.52	7.341	0.003*
7. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตัน/กิโลกรัม)	66.67	6.80	58.96	5.37	51.05	7.14	14.542	0.000*
8. ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (เมตร/วินาที)	3.04	0.19	2.95	0.09	2.87	0.17	2.842	0.076
9. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	169.12	16.39	164.91	11.92	149.71	10.65	5.969	0.007*
10. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	116.44	14.26	114.11	17.21	97.31	10.76	5.310	0.011*
11. Mmax กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis (มิลลิโวลต์)	6.39	3.61	6.18	1.89	5.54	1.30	0.319	0.729
12. Hmax กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis (มิลลิโวลต์)	1.67	0.16	1.72	0.42	1.61	0.30	0.288	0.752
13. Mmax กล้ามเนื้อ Soleus (มิลลิโวลต์)	3.77	1.24	3.14	0.86	3.02	0.38	1.956	0.161
14. Hmax กล้ามเนื้อ Soleus (มิลลิโวลต์)	1.83	0.61	1.75	0.80	1.65	0.24	0.244	0.787

*P <.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 6.21 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 5.89 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.56 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 6.89 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.79 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 6.40 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 7.16 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 7.00 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 6.97 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 7.44 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 7.33 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 7.24 เมตรต่อวินาที

ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 7.62 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 7.55 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 7.50 เมตรต่อวินาที

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตรของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 13 และตารางที่ 14 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

ด้านพลังของกล้ามเนื้อ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 64.21 วัตต์ต่อกิโลกรัม กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 60.84 วัตต์ต่อกิโลกรัม และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 54.27วัตต์ต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของพลังสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 26

ในส่วนของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 66.67 นิวตันต่อกิโลกรัม กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 58.96 นิวตันต่อกิโลกรัม และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 51.05 นิวตันต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

.05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 27

ในส่วนของความเร็วของบาร์เบลสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 3.04 เมตรต่อวินาที กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 2.95 เมตรต่อวินาที และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 2.87 เมตรต่อวินาที ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร็วของบาร์เบลสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

ด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 169.12 นิวตันเมตร กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 164.91 นิวตันเมตร และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 149.71 นิวตันเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 31

หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 116.44 นิวตันเมตร กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 114.11 นิวตันเมตร และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 97.31 นิวตันเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 32

ด้านความสามารถในการนำสัญญาณประสาท หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 6.39 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 6.18 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.54 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนของค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 3.77 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 3.14 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 3.02 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในส่วนของค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 1.67 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 1.72 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.61 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนของค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus กลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 1.83 มิลลิโวลต์ กลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 1.75 มิลลิโวลต์ และกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.65 มิลลิโวลต์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของ Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม พบว่าไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

กลุ่มตัวอย่าง	ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร (เมตร/วินาที)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	6.21	5.89	5.55
กลุ่มทดลองที่ 1	6.21	-	0.049*	0.000*
กลุ่มทดลองที่ 2	5.89		-	0.044*
กลุ่มควบคุม	5.55			-

*P <.05

จากตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

กลุ่มตัวอย่าง	ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร (เมตร/วินาที)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	6.89	6.79	6.40
กลุ่มทดลองที่ 1	6.89	-	0.827	0.012*
กลุ่มทดลองที่ 2	6.79		-	0.046*
กลุ่มควบคุม	6.40			-

*P <.05

จากตารางที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ระหว่างกลุ่มหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร มากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร (เมตร/วินาที)	5.47	0.27	6.21	0.23	-8.879	0.000*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร (เมตร/วินาที)	6.35	0.32	6.89	0.25	-7.671	0.000*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร (เมตร/วินาที)	6.85	0.38	7.16	0.25	-4.467	0.002*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร (เมตร/วินาที)	7.15	0.44	7.44	0.34	-4.190	0.002*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร (เมตร/วินาที)	7.35	0.51	7.62	0.39	-3.659	0.005*

*P <.05

จากตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 1 เท่ากับ 5.47 เมตรต่อวินาที และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.21 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.35 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.21 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.85 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.16 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.15 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.44 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.35 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.62 เมตรต่อวินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในแต่ละระยะ โดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร (เมตร/วินาที)	5.53	0.27	5.89	0.27	-6.402	0.000*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร (เมตร/วินาที)	6.37	0.34	6.79	0.37	-6.000	0.000*
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร (เมตร/วินาที)	6.93	0.40	7.00	0.44	-2.175	0.058
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร (เมตร/วินาที)	7.24	0.44	7.33	0.42	-2.153	0.060
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร (เมตร/วินาที)	7.48	0.50	7.55	0.45	-0.977	0.354

*P <.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ของกลุ่มทดลองที่ 2 เท่ากับ 5.53 เมตรต่อวินาที และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 5.89 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.37 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.79 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.93 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.00 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.24 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.33 เมตรต่อวินาที

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.48 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.55 เมตรต่อวินาที

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในแต่ละระยะ โดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร (เมตร/วินาที)	5.45	0.42	5.55	0.37	-2.074	0.068
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร (เมตร/วินาที)	6.37	0.39	6.40	0.39	-2.069	0.068
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร (เมตร/วินาที)	6.90	0.41	6.97	0.36	-1.885	0.092
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร (เมตร/วินาที)	7.23	0.46	7.24	0.40	-0.171	0.868
ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร (เมตร/วินาที)	7.44	0.49	7.50	0.44	-1.031	0.329

P > .05

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 5.45 เมตรต่อวินาที และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 5.55 เมตรต่อวินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.37 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.40 เมตรต่อวินาที

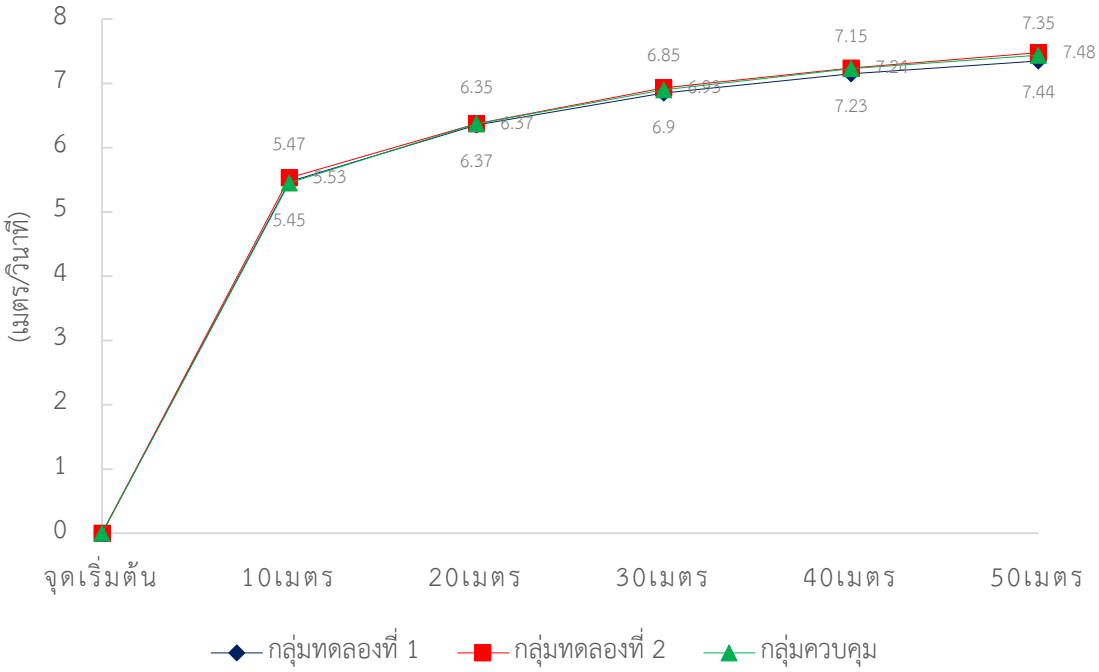
กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 6.90 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 6.97 เมตรต่อวินาที

กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.23 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.24 เมตรต่อวินาที

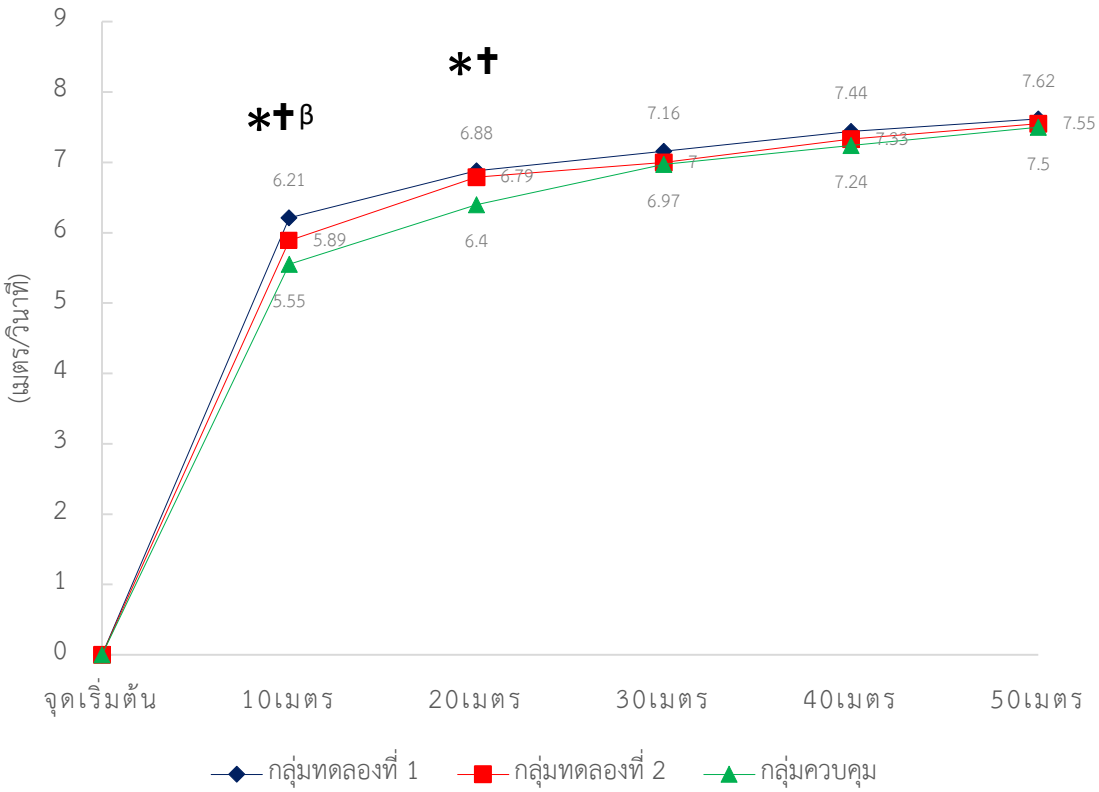
กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 7.44 เมตรต่อวินาทีและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 7.50 เมตรต่อวินาที

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในแต่ละระยะ โดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ไม่แตกต่างกัน

แผนภูมิที่ 4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลองของ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



แผนภูมิที่ 5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของ กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

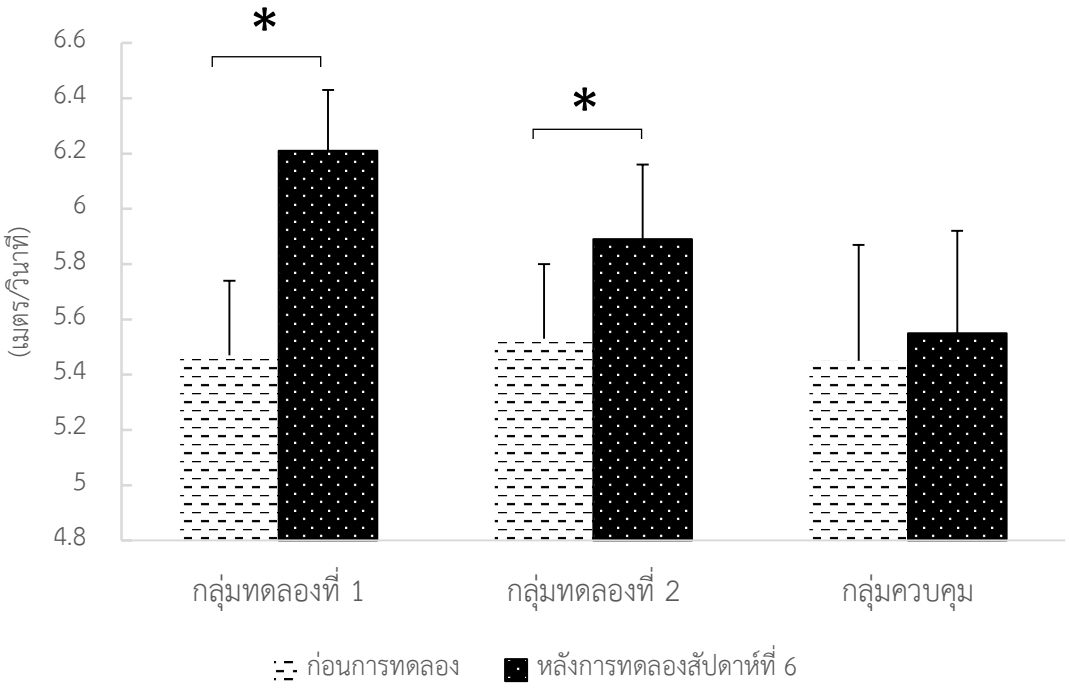


β กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร็วมากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

* กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร็วมากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

† กลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วมากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

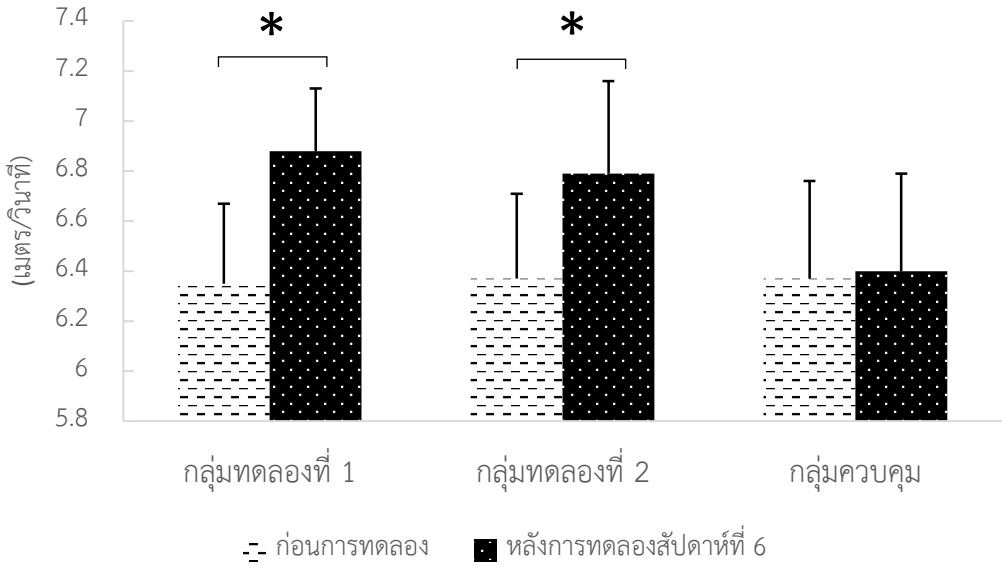
แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

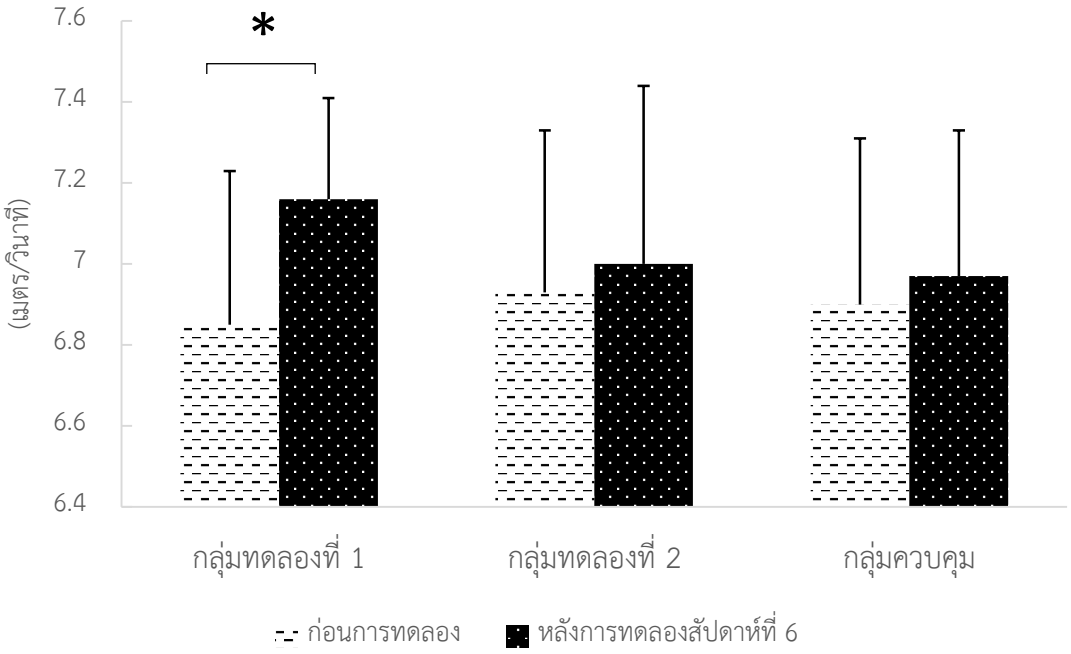
แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

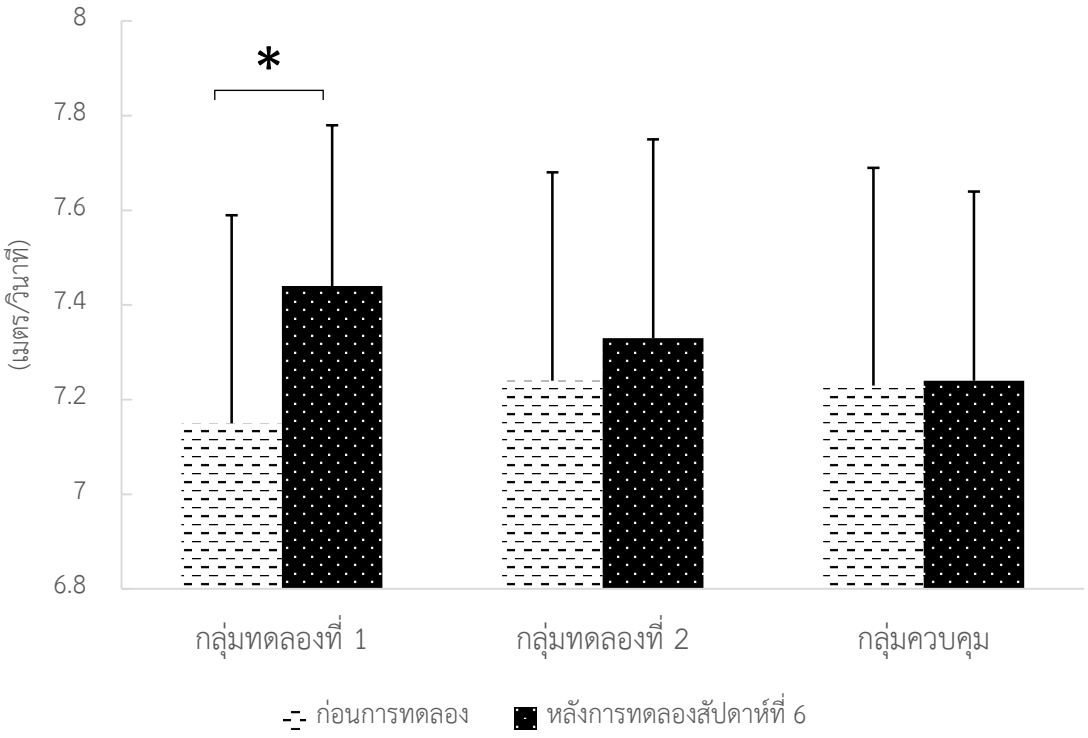
แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

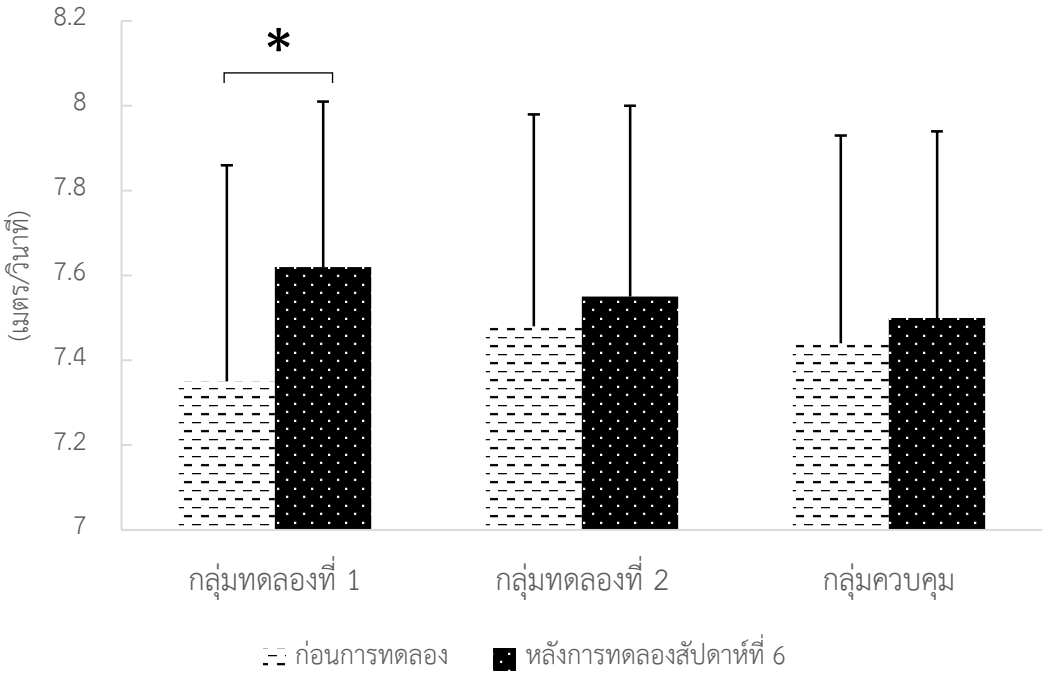
แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 50 เมตรก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

ในการวิจัยครั้งนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความเร่งซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วช่วงระยะทางต่างๆ ซึ่งปัจจัยสำคัญในการแสดงความสามารถในการเร่งความเร็วของนักกีฬา ดังแสดงในตารางที่ 18 และตารางที่ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง						F	P-value
	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร่ง 0-10 เมตร (เมตร/วินาที²)	3.00	0.29	3.06	0.29	3.09	0.48	0.108	0.898
ความเร่ง 10-20 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.68	0.20	0.66	0.28	0.69	0.15	0.029	0.971
ความเร่ง 20-30 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.42	0.10	0.47	0.12	0.44	0.09	0.628	0.541
ความเร่ง 30-40 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.25	0.08	0.26	0.06	0.28	0.08	0.405	0.671
ความเร่ง 40-50 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.17	0.07	0.23	0.21	0.18	0.05	0.756	0.479

P >.05

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6						F	P-value
	กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2		กลุ่มควบคุม			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร่ง 0-10 เมตร (เมตร/วินาที²)	3.87	0.28	3.47	0.30	3.09	0.43	12.414	0.000*
ความเร่ง 10-20 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.53	0.20	0.74	0.22	0.66	0.22	2.359	0.114
ความเร่ง 20-30 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.64	0.14	0.17	0.17	0.49	0.11	26.420	0.000*
ความเร่ง 30-40 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.24	0.12	0.35	0.12	0.22	0.07	3.719	0.037*
ความเร่ง 40-50 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.16	0.09	0.20	0.10	0.26	0.23	1.078	0.354

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P <.05

จากตารางที่ 18 และ 19 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการทดลอง กลุ่มทดลองที่ 1 มี ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร เท่ากับ 3.00 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 3.87 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.68 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.53 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.42 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.64 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.25 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.24 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.17 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 1.16 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

สำหรับกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร เท่ากับ 3.47 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 3.47 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.66 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.74 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 20 เมตร ถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.47 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.17 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตร ถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.26 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.35 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 40 เมตร ถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.21 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.20 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

และกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร เท่ากับ 3.09 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 3.09 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.69 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.66 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.44 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.49 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.28 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.22 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ก่อนการทดลอง เท่ากับ 0.18 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 0.26 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน ขณะที่หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร และความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey) ดังเสนอในตารางที่ 20-22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

กลุ่มตัวอย่าง	ความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร (เมตร/วินาที²)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	3.87	3.47	3.09
กลุ่มทดลองที่ 1	3.87	-	0.043*	0.000*
กลุ่มทดลองที่ 2	3.47		-	0.055
กลุ่มควบคุม	3.09			-

*P <.05

จากตารางที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 21 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

กลุ่มตัวอย่าง	ความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร (เมตร/วินาที²)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	0.64	0.17	0.49
กลุ่มทดลองที่ 1	0.64	-	0.000*	0.073
กลุ่มทดลองที่ 2	0.17		-	0.000*
กลุ่มควบคุม	0.49			-

*P <.05

จากตารางที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร ระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร มากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 22 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

กลุ่มตัวอย่าง	ความเร่งจากจุด 30 เมตร ถึงจุด 40 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	0.24	0.35	0.22
กลุ่มทดลองที่ 1	0.24	-	0.110	0.229
กลุ่มทดลองที่ 2	0.35		-	0.042*
กลุ่มควบคุม	0.22			-

*P <.05

จากตารางที่ 22 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร ระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร มากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร่ง 0-10 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	3.00	0.29	3.87	0.28	-8.993	0.000*
ความเร่ง 10-20 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	0.68	0.20	0.53	0.20	2.907	0.017*
ความเร่ง 20-30 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	0.42	0.10	0.64	0.14	-3.528	0.006*
ความเร่ง 30-40 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	0.25	0.08	0.24	0.12	0.356	0.730
ความเร่ง 40-50 เมตร (เมตร/วินาที^{2})	0.17	0.07	0.16	0.09	0.755	0.469

*P <.05

จากตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร่งในแต่ละช่วงระยะโดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร นั้นน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร่ง 0-10 เมตร (เมตร/วินาที²)	3.06	0.29	3.47	0.30	-6.170	0.000*
ความเร่ง 10-20 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.66	0.28	0.74	0.22	-1.005	0.341
ความเร่ง 20-30 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.47	0.12	0.17	0.17	5.102	0.001*
ความเร่ง 30-40 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.26	0.06	0.35	0.12	-1.790	0.107
ความเร่ง 40-50 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.23	0.21	0.20	0.10	0.666	0.522

*P <.05

จากตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร่งในแต่ละช่วงระยะโดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร นั้นน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

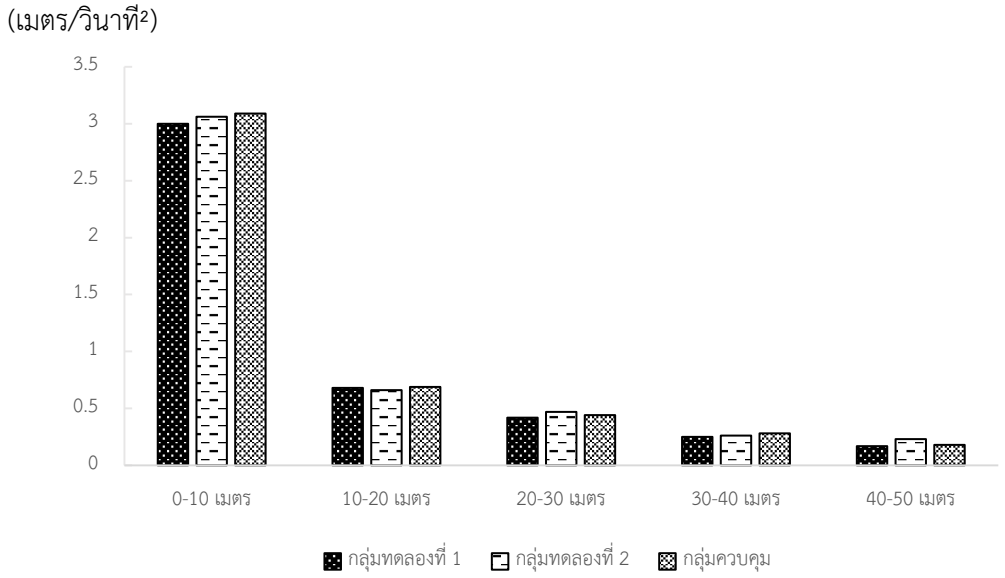
ตารางที่ 25 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
ความเร่ง 0-10 เมตร (เมตร/วินาที²)	3.09	0.48	3.09	0.43	-2.068	0.069
ความเร่ง 10-20 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.69	0.15	0.66	0.22	0.788	0.451
ความเร่ง 20-30 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.44	0.09	0.49	0.11	-1.057	0.318
ความเร่ง 30-40 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.28	0.08	0.22	0.07	2.697	0.025*
ความเร่ง 40-50 เมตร (เมตร/วินาที²)	0.18	0.05	0.26	0.23	-1.282	0.232

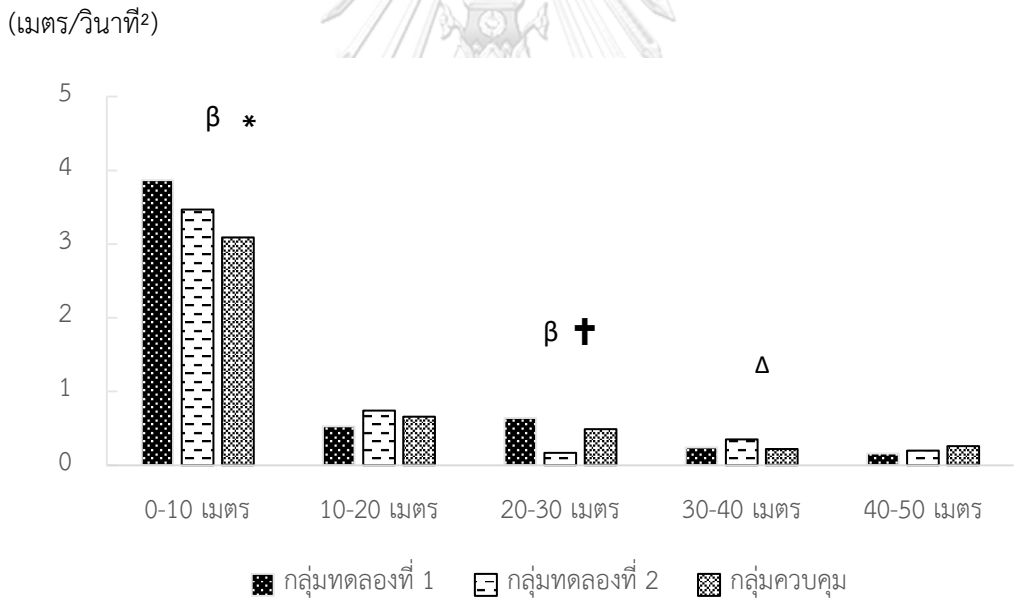
*P <.05

จากตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ โดยการทดสอบ Pair sample t-test พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร ความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ ก่อนการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



β กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร่งมากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

* กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร่งมากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

Δ กลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร่งมากกว่า กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

✝กลุ่มควบคุม มีความเร่งมากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

แผนภูมิที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยของความเร่งในช่วงระยะต่าง ๆ หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 26 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของพลังสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

กลุ่มตัวอย่าง	พลังสูงสุด (วัตต์/กิโลกรัม)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	64.21	60.84	54.27
กลุ่มทดลองที่ 1	64.21	-	0.420	0.002*
กลุ่มทดลองที่ 2	60.84		-	0.049*
กลุ่มควบคุม	54.27			-

*P <.05

จากตารางที่ 26 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของพลังสูงสุดระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าพลังสูงสุดมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตารางที่ 27 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

กลุ่มตัวอย่าง	แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตัน/กิโลกรัม)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	66.67	58.96	51.05
กลุ่มทดลองที่ 1	66.67	-	0.033*	0.000*
กลุ่มทดลองที่ 2	58.96		-	0.029*
กลุ่มควบคุม	51.05			-

*P <.05

จากตารางที่ 27 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ระหว่างกลุ่ม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 28 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1. พลังสูงสุด (วัตต์ต่อกิโลกรัม)	54.31	8.79	64.21	5.37	-3.516	0.007*
2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตันต่อกิโลกรัม)	45.02	9.80	66.67	6.79	-12.932	0.000*
3. ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (เมตรต่อวินาที)	2.78	0.24	3.04	0.19	-4.608	0.001*

*P <.05

จากตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1. พลังสูงสูด (วัตต์ต่อกิโลกรัม)	55.43	8.50	60.84	5.75	-2.336	0.044*
2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตันต่อกิโลกรัม)	46.11	7.04	58.96	5.37	-4.843	0.001*
3. ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (เมตรต่อวินาที)	2.80	0.13	2.95	0.09	-5.759	0.000*

*P <.05

จากตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 30 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. พลังสูงสูด (วัตต์ต่อกิโลกรัม)	52.43	7.51	54.27	6.52	-1.028	0.331
2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (นิวตันต่อกิโลกรัม)	46.61	11.61	51.05	7.14	-1.548	0.156
3. ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (เมตรต่อวินาที)	2.76	0.20	2.87	0.17	-2.000	0.077

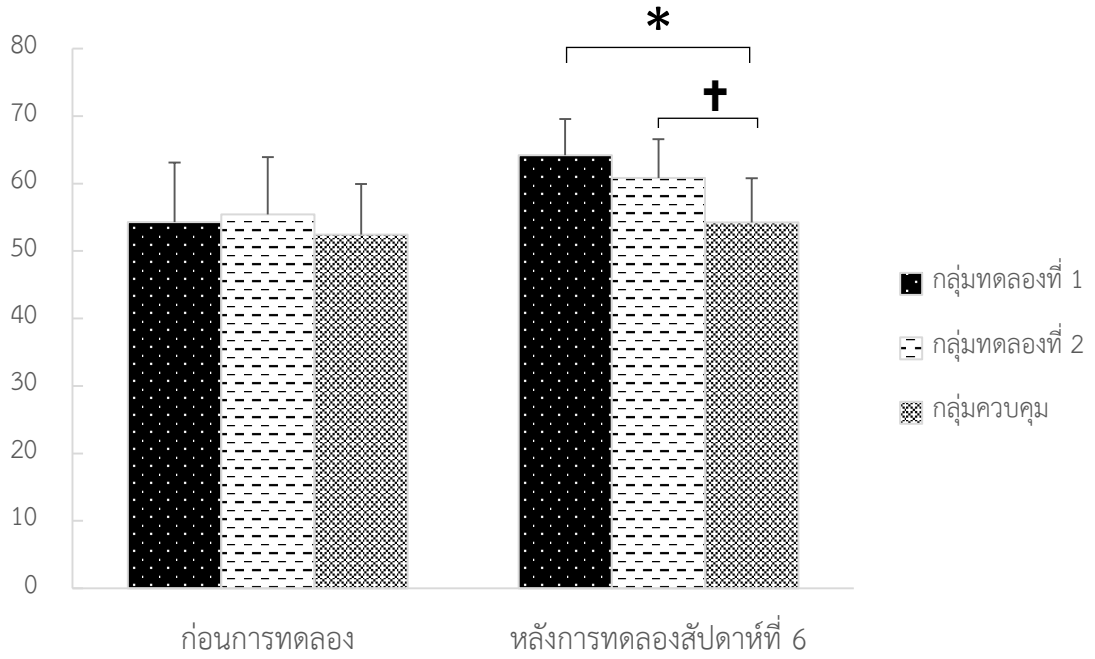
P > .05

จากตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มควบคุม พบว่า ค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังสูงสูด (Peak power) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6

(วัตต์/กิโลกรัม)

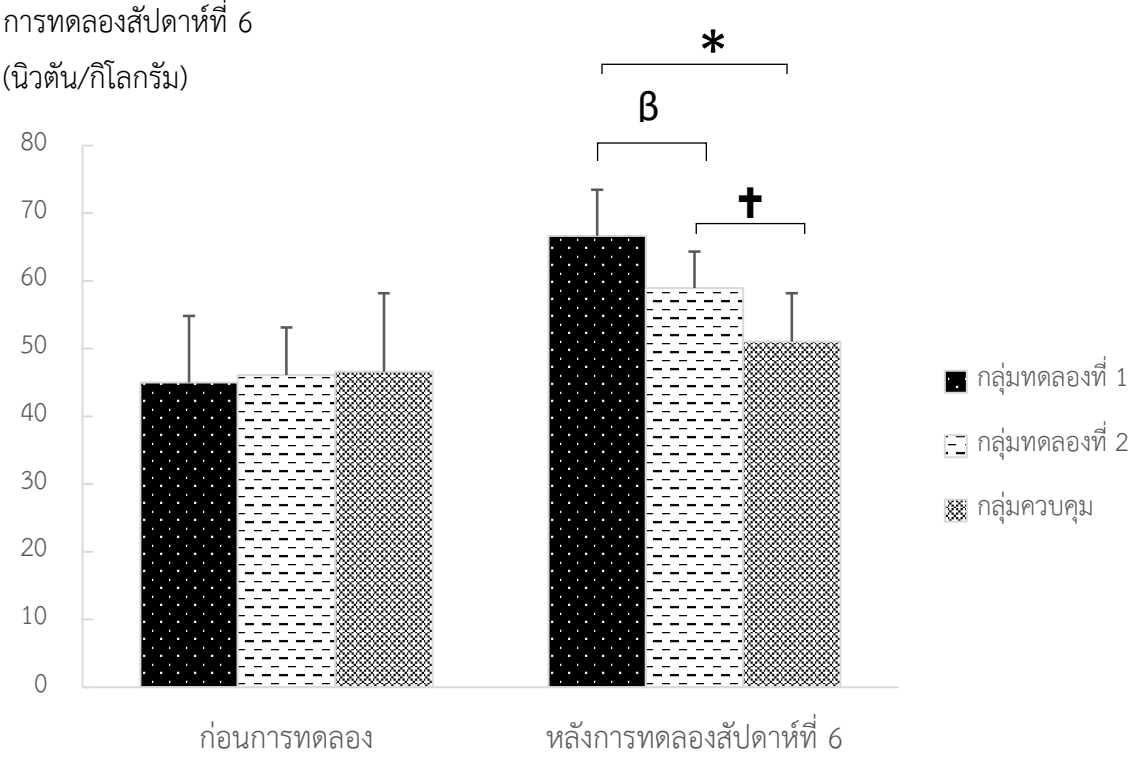


* มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 2 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6



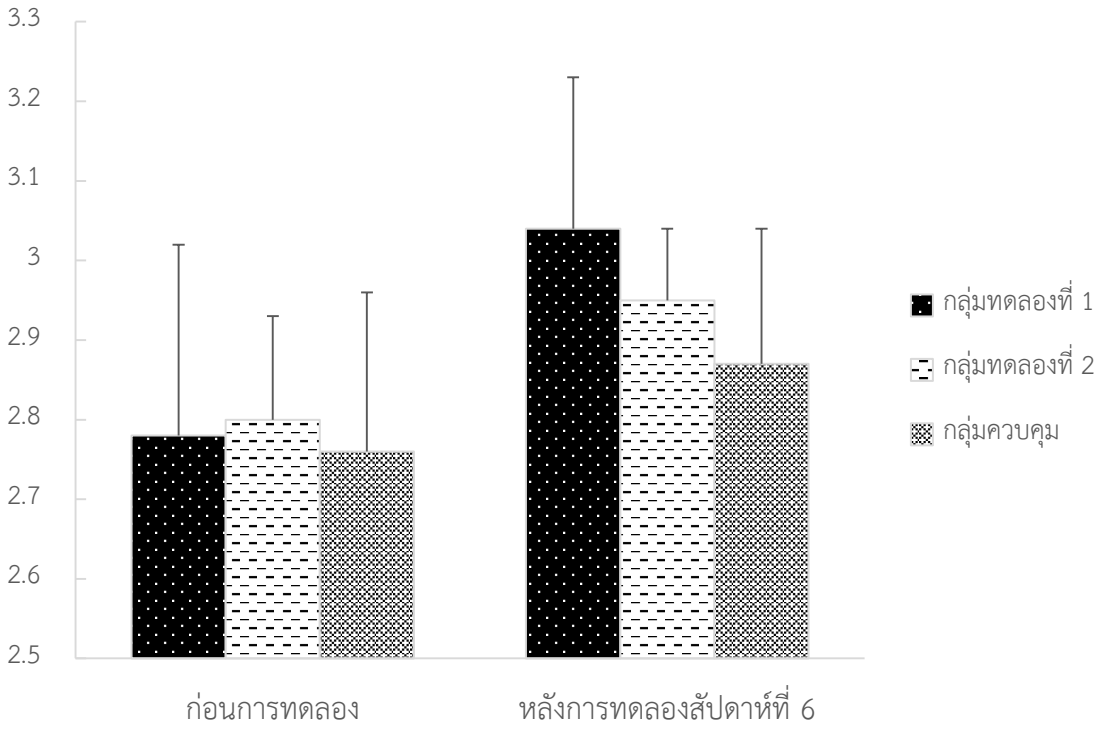
* มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

✝ มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 2 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

β มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

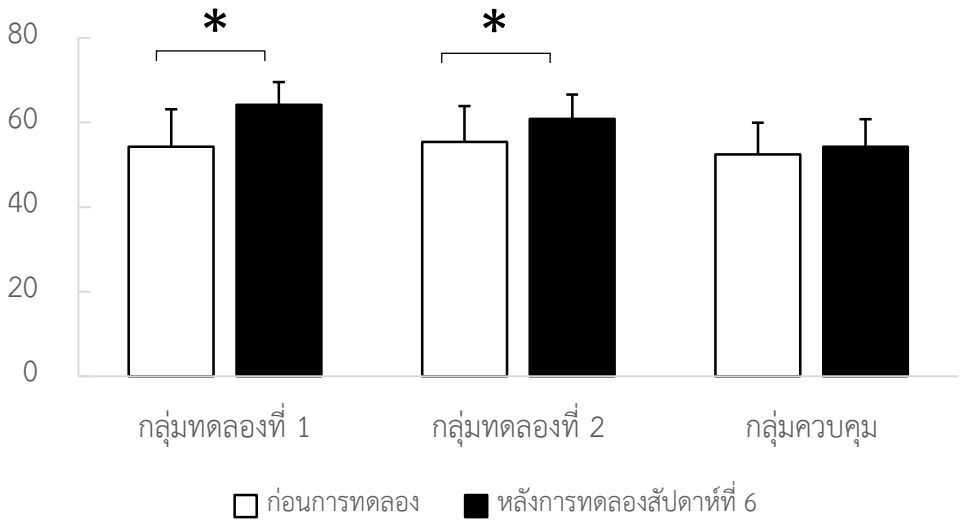
แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 (เมตร/วินาที)



แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังสูงสูด (Peak power) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

(วัตต์/กิโลกรัม)

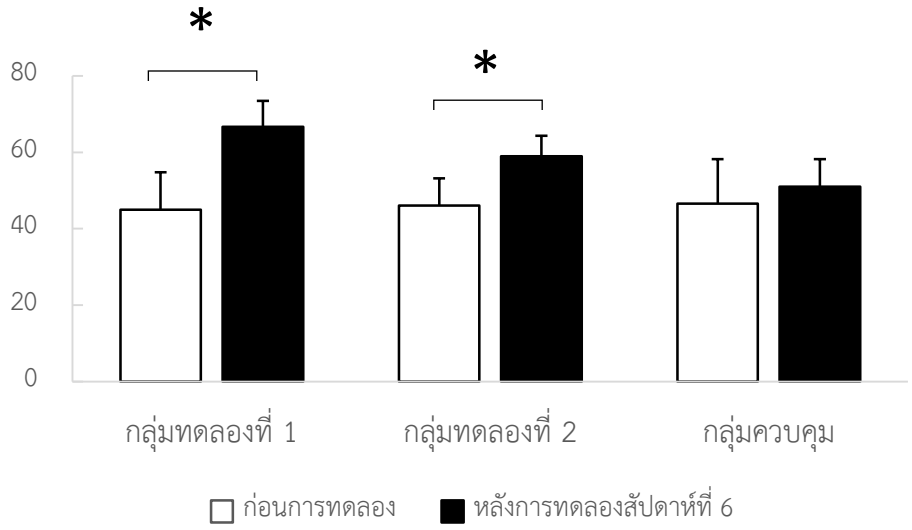
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

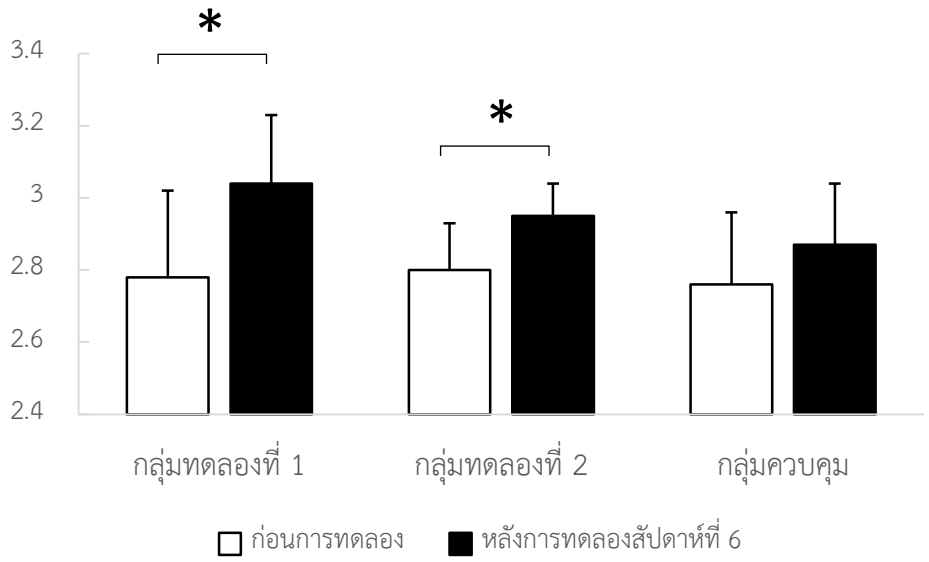
(นิวตัน/กิโลกรัม)



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม (เมตร/วินาที)



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 31 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของตูกี (Tukey)

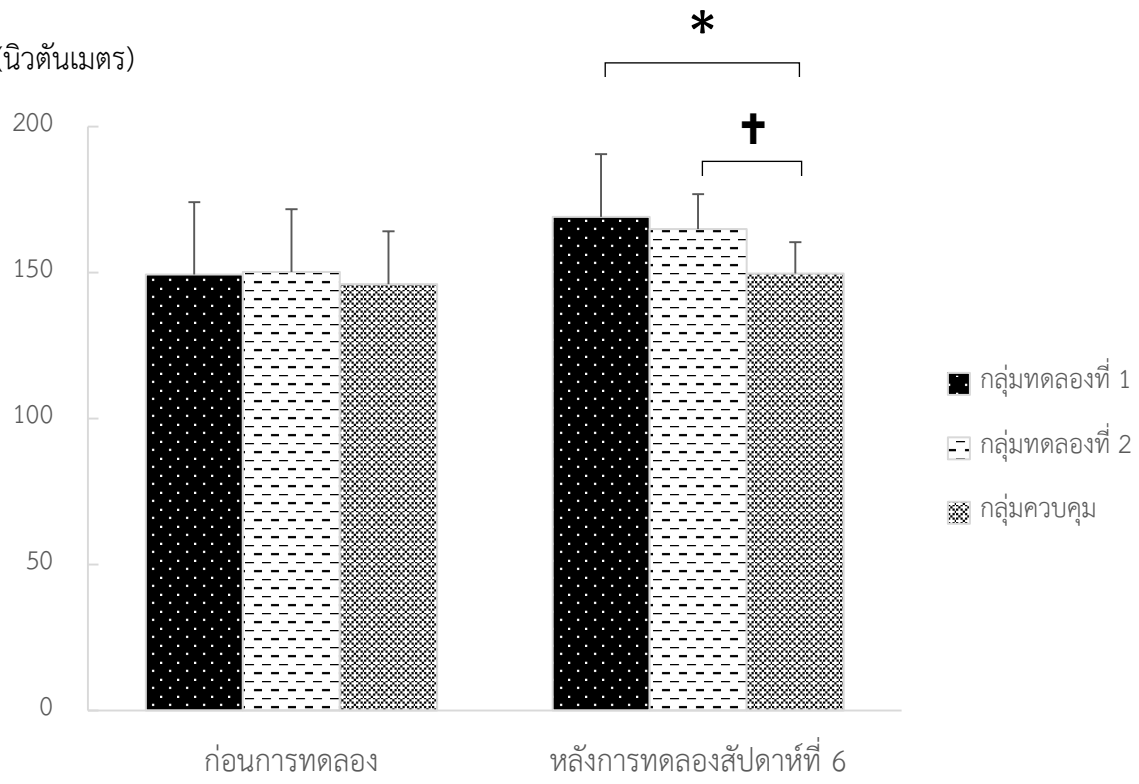
กลุ่มตัวอย่าง	ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	169.12	164.91	149.71
กลุ่มทดลองที่ 1	169.12	-	0.758	0.008*
กลุ่มทดลองที่ 2	164.91		-	0.041*
กลุ่มควบคุม	149.71			-

*P <.05

จากตารางที่ 31 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6



* มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 2 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 32 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่าหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ระหว่าง กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดสอบของ ตูกี (Tukey)

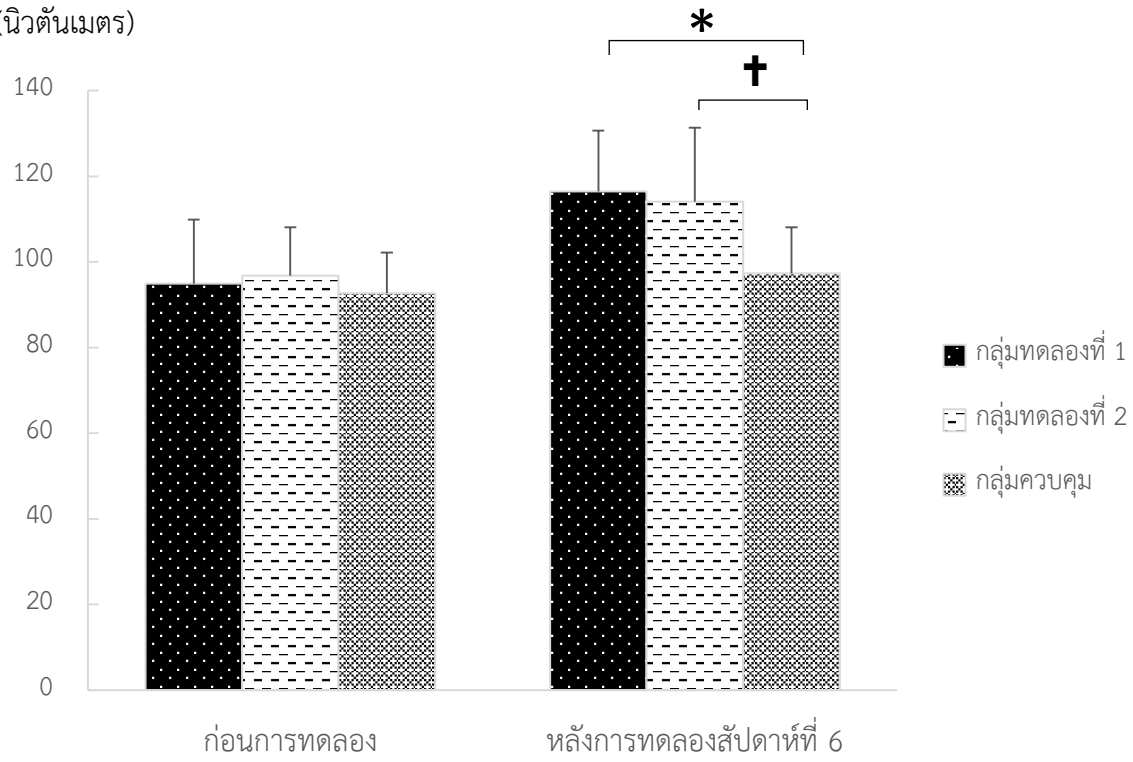
กลุ่มตัวอย่าง	ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	กลุ่มทดลองที่ 1	กลุ่มทดลองที่ 2	กลุ่มควบคุม
	$\overline{X}$	116.44	114.11	97.31
กลุ่มทดลองที่ 1	116.44	-	0.930	0.016*
กลุ่มทดลองที่ 2	114.11		-	0.037*
กลุ่มควบคุม	97.31			-

*P <.05

จากตารางที่ 32 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่าหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6



* มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

✝ มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 2 และ กลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 33 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	149.29	24.84	169.12	16.39	-4.962	0.001*
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	94.94	14.97	116.44	14.26	-5.830	0.001*

*P <.05

จากตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 34 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	150.24	21.43	164.91	11.92	-2.575	0.030*
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	96.82	11.26	114.11	17.21	-5.135	0.001*

*P <.05

จากตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 35 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม

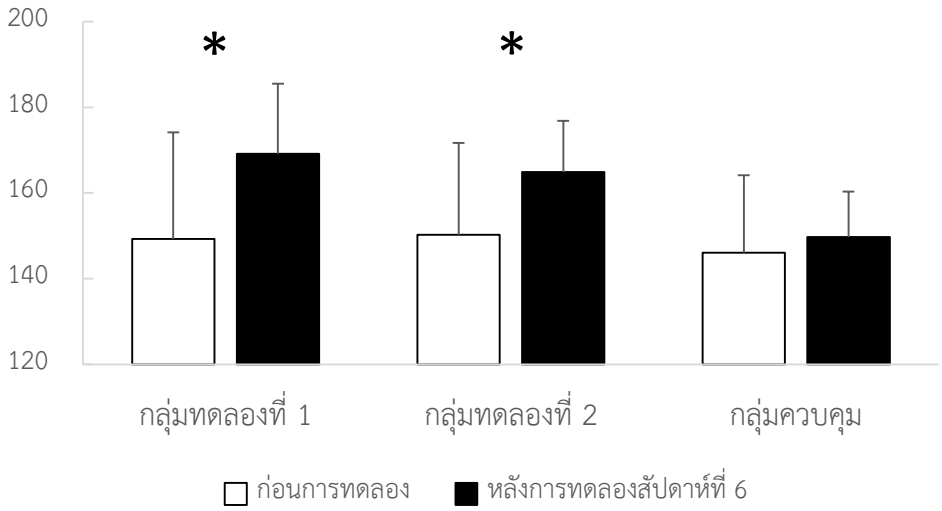
ตัวแปร	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6		t	p
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (นิวตันเมตร)	146.08	18.07	149.71	15.31	-1.110	0.296
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (นิวตันเมตร)	92.71	9.51	97.31	10.76	-1.883	0.092

P > .05

จากตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มควบคุมพบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ไม่แตกต่างกัน

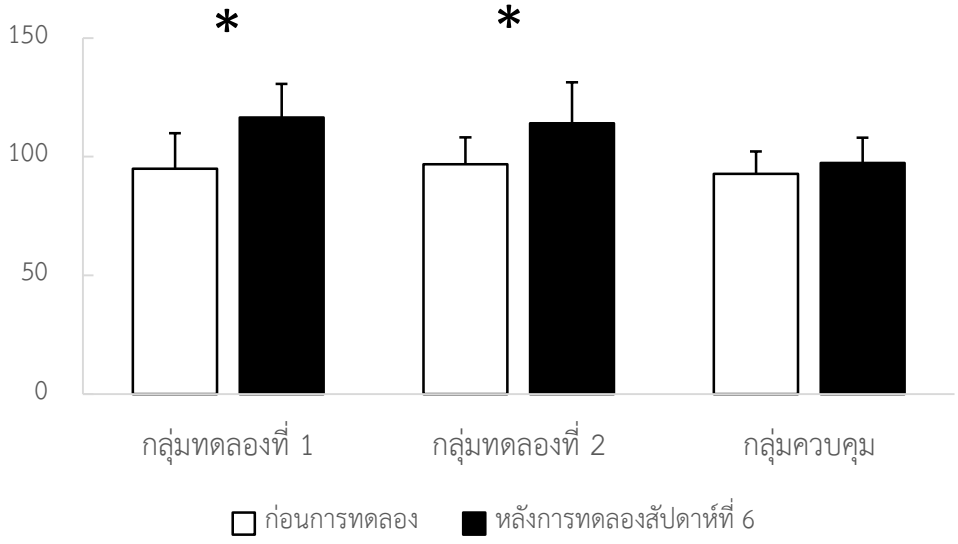
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม
(นิวตันเมตร)



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม
(นิวตันเมตร)



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

ตารางที่ 36 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปร		ก่อนการทดลอง		หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6		t	p
		$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis	Mmax (มิลลิโวลต์)	5.74	3.01	6.39	3.61	-2.280	0.049*
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.60	0.35	1.67	0.16	-0.742	0.477
กล้ามเนื้อ Soleus	Mmax (มิลลิโวลต์)	3.13	0.49	3.77	1.24	-2.462	0.036*
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.70	0.22	1.83	0.61	-0.715	0.493

*P <.05

จากตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสามารถในการนำสัญญาณประสาท Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่า Mmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่า Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 37 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปร		ก่อนการทดลอง		หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6		t	p
		$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis	Mmax (มิลลิโวลต์)	5.69	1.89	6.18	1.89	-1.199	0.261
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.67	0.45	1.72	0.42	-0.382	0.711
กล้ามเนื้อ Soleus	Mmax (มิลลิโวลต์)	3.03	0.86	3.14	0.86	-1.146	0.281
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.72	0.93	1.75	0.80	-0.363	0.725

P > .05

จากตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสามารถในการนำสัญญาณประสาท Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 38 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มควบคุม

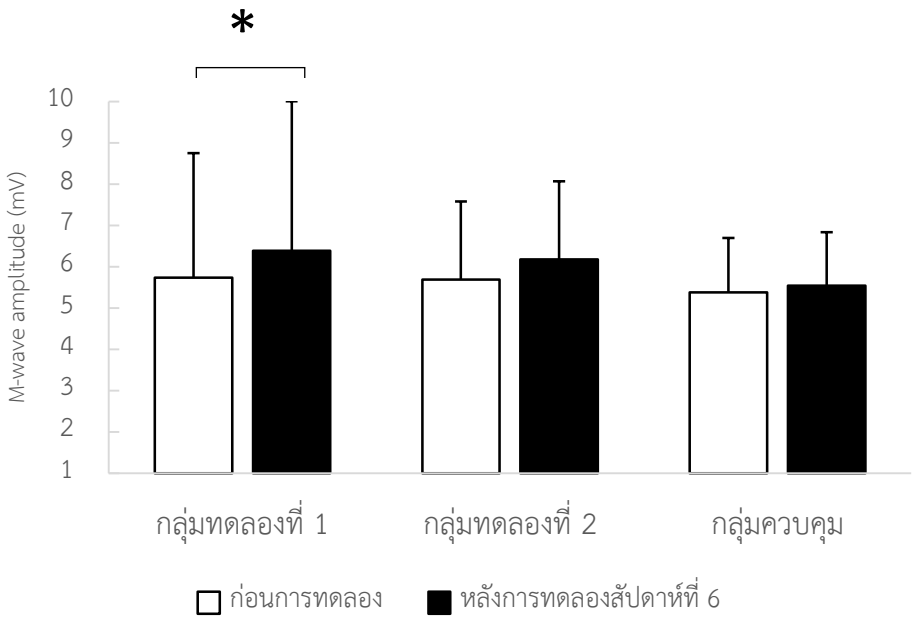
ตัวแปร		ก่อนการทดลอง		หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6		t	p
		$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis	Mmax (มิลลิโวลต์)	5.39	1.32	5.54	1.30	-1.894	0.090
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.54	0.42	1.61	0.30	-0.684	0.511
กล้ามเนื้อ Soleus	Mmax (มิลลิโวลต์)	3.05	0.84	3.02	0.38	0.078	0.939
	Hmax (มิลลิโวลต์)	1.62	0.34	1.65	0.24	-0.290	0.778

P > .05

จากตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสามารถในการนำสัญญาณประสาท Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus โดยการทดสอบ Pair sample t-test ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่แตกต่างกัน

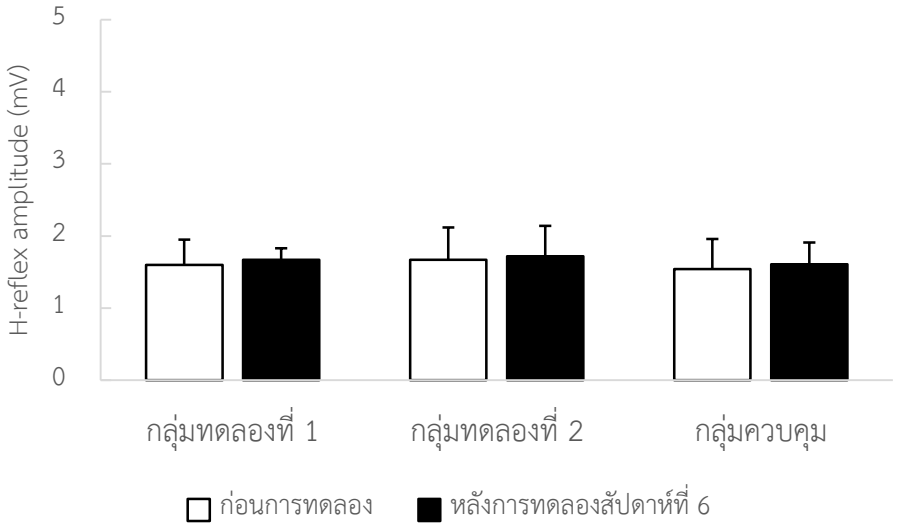
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

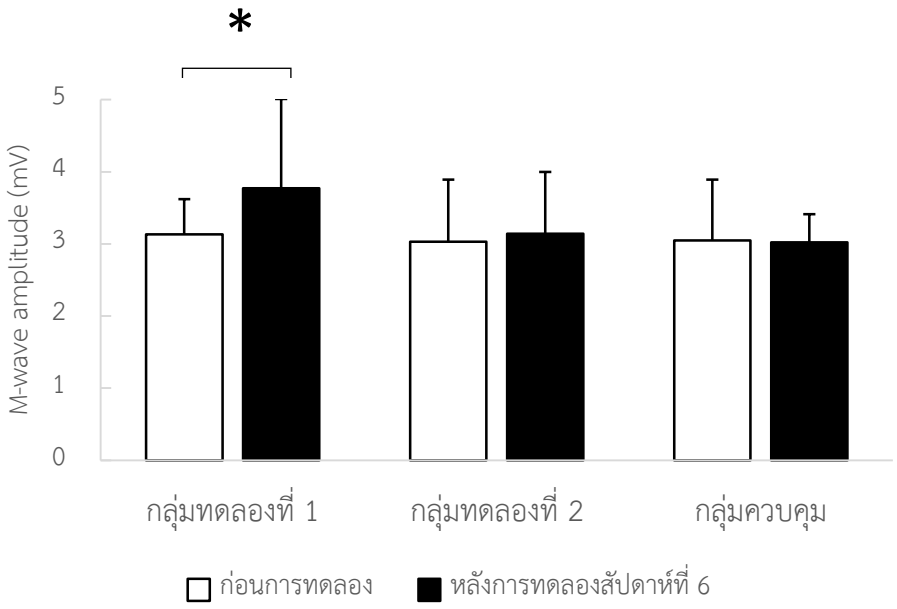


* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

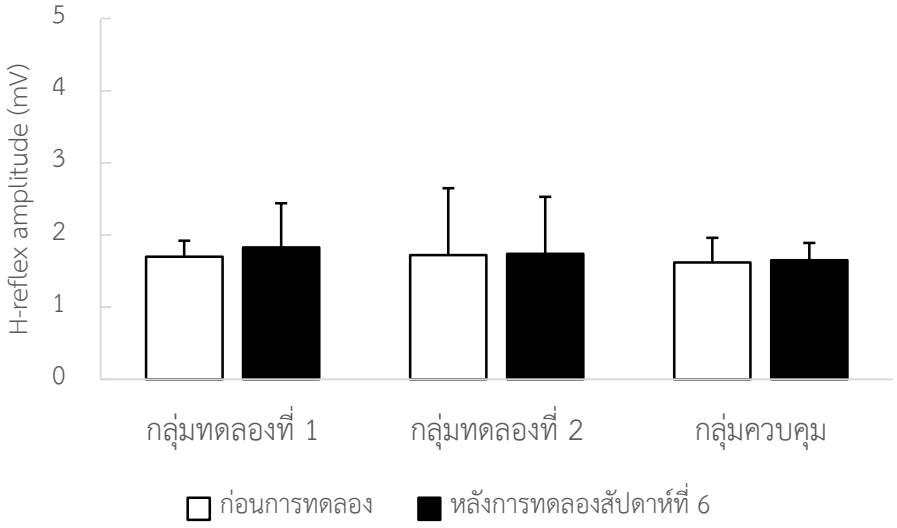


แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Mmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (P <.05)

แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Hmax ของกล้ามเนื้อ Soleus ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม



บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 1

การวิจัยในการศึกษาที่ 1 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา ในนักวิ่งระยะสั้นเพศชาย ของโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร อายุระหว่าง 14-16 ปี ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 12 คน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 3 คน ทำการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับ ใช้เวลาในการทดสอบ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน โดยในแต่ละสัปดาห์กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะได้รับการทดสอบการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา โดยแต่ละองศาใช้ระยะทางในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด 10 เมตร ทำสลับกันในมุมที่แตกต่างกันไปทุกๆ สัปดาห์จนครบทุกกลุ่ม ก่อนทำการทดลองให้นักกีฬาทำการติดตัวรับสัญญาณ EMG บนกล้ามเนื้อ 9 มัด ประกอบด้วย กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis, Soleus, Tibialis anterior, Vastus lateralis, Rectus femoris, Biceps femoris, Semitendinosus, Gluteus maximus, และ Pectoralis major จากนั้นให้นักกีฬาทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจำนวน 5 เที่ยวแต่ละเที่ยวพัก 5 นาที และนำข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มาหาค่าตัวแปร คือเปอร์เซ็นต์ความ ต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One – way analysis of variance with repeated measure) ถ้าพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิจัยพบว่า

เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (EMG-amplitude) ส่วนใหญ่ขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมองศาของพื้นลาดเอียงเพิ่มขึ้น โดยพบว่า กล้ามเนื้อ Vastus lateralis มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากที่สุดที่มุม 9 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับมุมอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างพื้นราบ และมุม 3 องศา ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กล้ามเนื้อ Biceps femoris และ กล้ามเนื้อ Pectoralis

major ขณะที่กล้ามเนื้อ Biceps femoris และ กล้ามเนื้อ Semitendinosus มีการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด (Time to peak EMG) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นราบและมุม 3 องศา ยกเว้นกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Vastus lateralis ส่วนมุม 6 องศา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับพื้นราบในกล้ามเนื้อเกือบทุกมัด ยกเว้นกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ขณะที่มุม 9 องศาซึ่งมีความแตกต่างกับพื้นราบ มุม 3 องศา และ 6 องศา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเฉพาะกล้ามเนื้อ Soleus และ กล้ามเนื้อ Semitendinosus

อัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นราบและมุม 9 องศา พบว่ากล้ามเนื้อส่วนใหญ่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ยกเว้น กล้ามเนื้อ Soleus ที่ไม่พบความแตกต่างในทุกมุมองศา และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา พบความแตกต่างในกล้ามเนื้อบางมัดที่มีความโดดเด่นโดยเฉพาะกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Rectus femoris

อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 1

การวิจัยในการศึกษาที่ 1 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อมุมของพื้นลาดเอียงเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด

ในการศึกษานี้นักกีฬาได้ทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงเป็นระยะทาง 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่สอดคล้องกับช่วงการเร่งความเร็วในการวิ่งระยะสั้น โดยพบว่ากล้ามเนื้อส่วนใหญ่มีการทำงานเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชันเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดเข่า โดยจะเห็นได้ว่าการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis ที่มุม 9 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดมากที่สุด มากกว่ามุมอื่น ๆ เช่นเดียวกันกับกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ Soleus ที่ทำงานมากขึ้นก็เพราะว่าต้องทำงานในลักษณะตะปบเท้าอย่างรวดเร็ว (Pawing action) และทำหน้าที่เหยียดข้อเท้าด้วย และจากผล

การทดลองจะเห็นว่ากล้ามเนื้อ Rectus femoris ที่มีความโดดเด่นที่เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทอดข้ามข้อต่อมากกว่าหนึ่งข้อต่อโดยจะทำหน้าที่งอสะโพกและเหยียดเข่า ซึ่งส่งผลต่อการสร้างพลังของกล้ามเนื้อเพื่อเร่งความเร็ว จะเห็นได้ว่าการยกเท้าที่ลอยอยู่ในอากาศขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ ช่วงของการลอยตัวจะยกเท้าได้นานกว่า ขณะที่มุมองศาเพิ่มสูงขึ้นทำให้นักกีฬาวางเท้าสัมผัสพื้นได้เร็วขึ้น จึงไปกระตุ้นกล้ามเนื้อได้ให้ทำงานได้เร็วขึ้น ดังนั้นองศาในการยกขาก็ก็ต้องยกมากขึ้น โดยเฉพาะเกิดการทำงานของกล้ามเนื้องอสะโพกมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกันกับการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อ plantar flexion ในช่วง propulsive phase ก็จะทำงานเพิ่มมากขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Kyrolainen, Avela, and Komi (2005), Capellini et al. (2006), and Coh et al.(2009) ที่ได้ทำการศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อทำการวิ่งบนพื้นลาดเอียง พบว่ากลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps กล้ามเนื้อ Hamstrings กล้ามเนื้อ Soleus และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius มีค่า EMG activities เพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม การศึกษาของ Mero and Komi (1987) พบการทำงานของกล้ามเนื้อ Semitendinosus และ กล้ามเนื้อ Pectoralis major ที่มีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลดลงขณะอยู่ในช่วงถีบเท้า (Push off) ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่ากล้ามเนื้อ Tibialis anterior มีการทำงานที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อมัดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานเป็นลำดับหลังขณะเท้าสัมผัสพื้นช่วงถีบเท้า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Jonhagen et al. (1996) ที่พบว่า กล้ามเนื้อ Tibialis anterior จะทำงานสูงสุดเมื่อระยะเริ่มต้นของ Swing phase. ขณะวิ่งเร็ว นอกจากนี้การศึกษาครั้งนี้ยังได้บันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Pectoralis major ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อช่วงบน ซึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อ Pectoralis major อาจมีบทบาทสำคัญในการช่วยสร้างอัตราเร่งให้นักกีฬา โดยเฉพาะในช่วงแรกของการออกตัวที่ต้องเหยียดแขนส่งตัวไปด้านหน้าเพื่อสร้างแรงในการถีบเท้าให้ลำตัวโน้มไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว ในงานวิจัยของ Yokozawa, Fujii , and Ae (2007) รายงานว่า กลุ่มกล้ามเนื้อช่วงล่างของร่างกายทำงานหนักขึ้นขณะวิ่งขึ้นเนิน โดยพบการทำงานเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis กล้ามเนื้อ Iliopsoas และกล้ามเนื้อ Adductors เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Cai et al. (2010) ซึ่งได้สนับสนุนผลการศึกษาครั้งนี้โดยพบว่าขณะวิ่งขึ้นเนิน กล้ามเนื้อ Rectus femoris และ กล้ามเนื้อ Gastrocnemius ทำงานมากขึ้นมากด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้พบว่าการทำงานของกล้ามเนื้อ Biceps femoris และ กล้ามเนื้อ Semitendinosus ลดลงโดยค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดน้อยลงเมื่อความชันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Slawinski et al. (2008) ที่พบว่า การทำงานของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring ลดลงขณะวิ่งขึ้นเนิน อาจเนื่องมาจากขณะเร่งความเร็วท่าทางการเคลื่อนไหวที่นักกีฬาต้องโน้มตัวไปข้างหน้าโดยข้อต่อสะโพก เข่า และข้อเท้าเหยียดสุด (Fully extended) ทำให้น้ำหนักและแรงตกอยู่ใกล้ตัวของนักกีฬาคือบริเวณสะโพกทำให้ต้องออกแรงมากในกลุ่มกล้ามเนื้อ Gluteus maximus เพื่อจะถ่ายโยงแรงไปยังกล้ามเนื้อที่อยู่ไกลตัวออกไปบริเวณเข่าคือกล้ามเนื้อ Vastus lateralis และบริเวณข้อเท้าคือกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ทอดข้ามสองข้อต่อเช่นเดียวกัน ขณะที่กลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring จะทำงานมากขึ้นเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด

การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มุมแตกต่างกัน จัดเป็นรูปแบบฝึกความเร็วแบบมีแรงต้าน (Sprint-resisted method) มีลักษณะเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับร่างกายโดยเป็นการฝึกเสริมความเร็วที่นักกีฬาจะต้องพยายามออกแรงในการเคลื่อนไหวมากขึ้น การฝึกแบบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความยาวช่วงก้าว (Stride length) และความสามารถในการเร่งความเร็วโดยเฉพาะการสร้างอัตราเร่ง ตลอดจนช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี นั่นเป็นเหตุผลว่าในการพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว การสร้างพลังของกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้ามีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้การวิ่งเข้าสู่ช่วงวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของ Young et al. (2001) ที่พบว่ากล้ามเนื้อ Quadriceps และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกมีความจำเป็นสำหรับการเร่งความเร็ว อีกทั้งเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่เป็นประโยชน์ต่อการเคลื่อนไหวร่างกายไปข้างหน้าหรือในแนวดิ่งเช่นการวิ่งหรือการกระโดด เป็นต้น ชูศักดิ์และกันยา (2536) กล่าวไว้ว่า การวิ่งระยะสั้นขึ้นอยู่กับพลังเป็นส่วนใหญ่ เกิดจากการพุ่งของร่างกายไปข้างหน้า โดยพลังขาทั้งสองข้าง อัตราเร็วของการพุ่งขึ้นอยู่กับแรงและความเร็วของการหดตัวของกล้ามเนื้อ จะเห็นได้ว่าในการศึกษาครั้งนี้มุม 9 องศาของพื้นลาดเอียงมีผลทำให้กลุ่มกล้ามเนื้อที่มีอิทธิพลต่อการเร่งความเร็วทำงานหนักมากขึ้นอันจะช่วยเพิ่มสมรรถภาพและประสิทธิภาพในการทำงานของหน่วยยนต์เส้นใยชนิดหดตัวเร็วให้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Dintiman and Ward (1998) ที่กล่าวว่า ในการพัฒนาการเริ่มต้นออกวิ่งและสร้างอัตราเร่งความเร็วด้วยการ ฝึกวิ่งขึ้นเนินบนทางชันควรฝึกระหว่างมุม 8-10 องศา เพราะฉะนั้นนักกีฬาจะต้องมีความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อที่ดีเพื่อให้การวิ่งนั้นเป็นไปอย่างมีสมรรถนะสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด

จากผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นราบ มุม 3 องศา และ 6 องศาไม่พบความแตกต่างในทุกมัดกล้ามเนื้อ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการหดตัวของกล้ามเนื้อมีความใกล้เคียงกันเพราะนักกีฬานั้นได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีด้วยรูปแบบการฝึกซ้อมเดียวกัน แต่โดยภาพรวมในการศึกษาครั้งนี้พบว่าระยะเวลาในการทำงานของกล้ามเนื้อจากจุดเริ่มต้นสัญญาณการทำงาน EMG ไปยังจุดสูงสุดขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดในพื้นราบเร็วกว่าการวิ่งบนพื้นลาดเอียงขณะที่มุม 9 องศา พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับพื้นราบในทุกมัดกล้ามเนื้อ โดยมุมองศาที่ชันขึ้นมีผลทำให้กล้ามเนื้อทำงานหนักขึ้นและท่าทางการเคลื่อนไหวทำให้นักกีฬาต้องมีการหดตัวของกล้ามเนื้อในช่วงยืดยาวออกมากกว่าปกติ รวมทั้งตัวรับความรู้สึกในกล้ามเนื้อ (Muscle spindle) จะรับรู้ถึงอัตราและขนาดของการยืดยาวออกและประสาทรับความรู้สึกของตัวรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อจะส่งสัญญาณประสาทไปยังประสาทสั่งการในประสาทไขสันหลัง และประสาทสั่งการนี้เองจะเป็นตัวส่งสัญญาณประสาทมายังกล้ามเนื้อนานขึ้น อย่างไรก็ตามหน่วยยนต์ (Motor unit) จะสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและสร้างแรงได้มากโดยอาศัยประสาทสั่งการ (Motor neuron) จำนวนมาก (Camille and Chester, 1969)

จะเห็นได้ว่าการฝึกวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเป็นการฝึกที่ใช้น้ำหนักตัวของนักกีฬาเองเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนไหว เมื่อความชันเพิ่มขึ้นแรงต้านขณะวิ่งนั้นก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน Young (1992) ได้กล่าวไว้ว่า การวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเป็นการผสมผสานทักษะการวิ่งเร็ว (Sprinting) กับการกระโดดในแนวราบ (Bounding) เข้าด้วยกันโดยมีเป้าหมายให้ระยะการก้าวมากกว่าปกติและใช้ระยะเวลาเท้าสัมผัสพื้นให้น้อยที่สุด โดยอาศัยพื้นฐานของวงจรยืดออก-หดสั้นเข้า (Stretch-shortening cycle) ซึ่งกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกอย่างรวดเร็วแล้วตามด้วยการหดตัวแบบหดสั้นเข้า จะต้องมีพื้นฐานมาจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch fiber) เป็นส่วนใหญ่

อัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

จากผลการวิจัยพบว่ากล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis กล้ามเนื้อ Vastus lateralis กล้ามเนื้อ Rectus femoris และกล้ามเนื้อ Gluteus maximus มีอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากกว่ากล้ามเนื้ออื่น ๆ จะเห็นได้ว่าขณะถีบเท้าในช่วง support phase นั้นกลุ่มกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เหล่านี้เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานเพื่อให้ร่างกายพุ่งไปข้างหน้าเมื่อเทียบกับทุกมุมองศา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Young et al. (2001) และ Frick et al. (1995) ที่รายงานว่ากลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก นั้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว จะเห็นได้ว่าเมื่อความชันมากขึ้นแนวโน้มเกิดการกระตุ้นอัตราการสร้างพลังของกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก ยิ่งเพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Laroche et al. (2007) ซึ่งสนับสนุนการศึกษาที่ 1 ของการวิจัยครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อความหนักของกิจกรรมที่ปฏิบัติมากขึ้น EMG activity จะเพิ่มขึ้นและอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Gottschall and Kram (2005) ที่พบว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่กระทำต่อพื้นเมื่อถีบเท้าขณะวิ่งบนลู่วิ่งกลที่ความชัน 9 องศามีค่ามากกว่าการวิ่งในแนวราบ อย่างไรก็ตามนักกีฬาจำเป็นต้องให้กล้ามเนื้อออกแรงได้อย่างเต็มที่และรวดเร็ว และมีแรงปฏิกิริยาต่อพื้นในแนวราบมากก็จะเป็นผลดีต่อการสร้างอัตราเร่ง

สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2

การวิจัยในการศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของ นักวิ่งระยะสั้นอายุ 14-16 ปี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาวิ่งระยะสั้นชายโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 30 คน ผู้วิจัยได้ใช้ตารางกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Cohen (1988) โดยกำหนดอำนาจการทดสอบ (Power) ที่ .80 และขนาดของผลที่จะเกิดขึ้น (Effect size) ที่ .50 จัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 10 คน ด้วยการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) กำหนดวิธีการทดลองให้แต่ละกลุ่มประกอบด้วยกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มทดลองที่ 1 หมายถึง กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มทดลองที่ 2 หมายถึง กลุ่มที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ และกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มควบคุม หมายถึง กลุ่มที่ฝึกซ้อมตามโปรแกรมการฝึกกรีฑาประเภทวิ่งระยะสั้นตามปกติเพียงอย่างเดียว ไม่ได้รับการฝึกเสริมใด ๆ ในส่วนของการทดสอบนั้นได้มีการทดสอบ 2 ครั้งคือ ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการเก็บรวบรวมประกอบด้วย ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร พลังสูงสูด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการนำสัญญาณประสาทของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำ (One – way analysis of variance) ถ้าพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของตูกี (Tukey) และเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 โดยการวิเคราะห์ ค่า Paired t-test โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัยระหว่างกลุ่มพบว่า

1. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตร มากกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน และกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตรมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม ขณะที่กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุมมีความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร กลุ่มทดลองที่ 2 มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างของความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสูดและแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่ากลุ่มควบคุม และ กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุดมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันของค่าพลังสูงสุดระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ส่วนหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยของความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ไม่แตกต่างกัน

4. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

5. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสามารถในการนำสัญญาณประสาท Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม

ผลการวิจัยภายในกลุ่มควบคุมพบว่า

1. กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ไม่แตกต่างกัน

2. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเร่งในทุกช่วงระยะ ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร นั้นมากกว่าก่อนการทดลอง

3. ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ภายในกลุ่มควบคุม พบว่า ค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ไม่แตกต่างกัน

4. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า ไม่แตกต่างกัน

5. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่า Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus ไม่แตกต่างกัน

ผลการวิจัยภายในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง ส่วนค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร น้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

3. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่า Mmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่า Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus ไม่แตกต่างกัน

ผลการวิจัยภายในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า

1. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

2. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร มากกว่าก่อนการทดลอง และค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 20 เมตรถึงจุด 30 เมตร นั้นน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร่งจากจุด 10 เมตรถึงจุด 20 เมตร ความเร่งจากจุด 30 เมตรถึงจุด 40 เมตร และความเร่งจากจุด 40 เมตรถึงจุด 50 เมตร ไม่แตกต่างกัน

3. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 มีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ค่า Mmax และ Hmax ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ Soleus ไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2

ความสามารถในการเร่งความเร็ว

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ต้องการที่จะศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงที่มีต่อความสามารถในการเร่งความเร็ว โดยผลการวิจัยพบว่า การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงมีผลทำให้องค์ประกอบของความสามารถในการเร่งความเร็วดีขึ้นส่วนใหญ่ยกเว้นในบางตัวแปร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร

เมื่อพิจารณาด้านความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีความเร็วในทุกระยะมากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมติฐานที่ตั้งไว้ ขณะที่กลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตร เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ไม่แตกต่างกันกับก่อนการทดลอง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าความเร็วในทุกระยะของกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่มนั้นมีแนวโน้มการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าโปรแกรมการฝึกของกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มนั้นเป็นการฝึกเชิงซ้อนซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทั้งความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อให้กับนักกีฬา โดยผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการฝึกพลัยโอเมตริกเข้าด้วยกัน สำหรับรูปแบบการฝึกด้วยพลัยโอเมตริกในการศึกษานี้ผู้วิจัยใช้ท่าการฝึกด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด (Speed bounding) ด้วยระยะทาง 10 เมตร ซึ่งสัมพันธ์กับการพัฒนาการเร่งความเร็วที่อยู่ในช่วง 0-30 เมตร (Delecluse, 1997; Rimmer and Sleivert, 2000; Mackała, Fostiak, and Kowalski, 2015) สอดคล้องกับ Ross et al. (2009) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกต่าง ๆ พบว่า กลุ่มที่ทำการฝึกความเร็วควบคู่กับการฝึกด้วยแรงต้าน เป็นเวลา 7 สัปดาห์ มีผลทำให้เวลาในการวิ่ง 30 เมตร ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกความเร็วหรือฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในช่วงเร่งความเร็วนั้นนักกีฬาต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่สนับสนุนที่ทำให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สามารถแสดงศักยภาพได้อย่างเต็มความสามารถ ดังที่ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย พลังของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการนำสัญญาณประสาท โดยพลังของกล้ามเนื้อที่มีการทำงานของกล้ามเนื้อแบบความยาวลดลงในลักษณะแรงระเบิดเป็นส่วนสำคัญต่อการเร่งความเร็ว Bosch and Klomp (2001) สอดคล้องกับ Young et al. (1995) ที่พบว่าเวลาในการวิ่งระยะ 2.5 เมตรแรกมีความสัมพันธ์กับแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในการศึกษาของ Hunter, Marshall, and McNair (2005) พบว่าแรงปฏิกิริยาต่อพื้นขณะเหยียดส่ง (Propulsive impulse) มีความสัมพันธ์อย่างมากถึง 57 เปอร์เซ็นต์ต่อความเร็วในการวิ่งที่ระยะ 16 เมตร ซึ่งเป็นระยะของการเร่งความเร็ว เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Alexander (1989) ที่พบว่าความเร็วในการวิ่ง 100 เมตร และ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการฝึกของทั้งสองกลุ่มในการศึกษาครั้งนี้เป็นการฝึกที่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเดียวกันที่เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้นด้วย

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง มีความเร็วจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพียงระยะเดียวเท่านั้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการทำงานของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกในการวิ่งบนพื้นลาดเอียงนั้นจะมากกว่าการวิ่งบนพื้นราบ สอดคล้องกับผลของค่าความเร่งจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตรซึ่งเป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วนั้นกลุ่มทดลองที่ 1 มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกัน จึงบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของความเร็วและความเร่งที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จะเห็นได้ว่าความเร่งช่วง 10 เมตรแรกมีความสำคัญต่อการเชื่อมโยงไปสู่ช่วงการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยจากผลของการศึกษาที่ 1 ได้สนับสนุนให้เห็นว่ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis กล้ามเนื้อ Rectus femoris และกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis ซึ่งมีความโดดเด่นและมีบทบาทสำคัญต่อการเร่งความเร็ว และจากการที่นักกีฬาได้รับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงร่วมด้วยกับการที่นักกีฬาใช้น้ำหนักตัวเองเป็นแรงต้านทานจากการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง โดยพื้นลาดเอียงที่นำมาใช้ฝึกร่วมนั้นได้มาจากผลของการศึกษาที่ 1 ซึ่งจะส่งผลทำให้กล้ามเนื้อทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kraemer et al. (1995) ได้กล่าวว่าการฝึกความแข็งแรงจะทำให้เกิดการปรับตัวทางด้านระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) โดยมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการทำงานของหน่วยยนต์ (Motor units) และการระดมหน่วยยนต์ (Recruitment) เพิ่มมากขึ้น ตลอดจนพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Cross-sectional area) มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ซึ่งจะนำไปสู่อัตราการผลิตแรงที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Young et al. (2001) ที่ได้เสนอแนะการฝึกวิ่งเร็วบนทางชัน (Incline sprint) ที่เป็นการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงความหนักสูงด้วยระยะทาง 10 เมตร จะสามารถพัฒนาความสามารถในการเริ่มต้นเคลื่อนที่สั้น ๆ (Short sprint) ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ Wild et al. (2011) ที่ได้สรุปไว้ว่า การวิ่งเร็วขึ้นเนิน (Short hill sprints) จะสามารถพัฒนาการเร่งความเร็ว (Acceleration) ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ เจริญ (2538) ยังได้กล่าวว่าการฝึกเสริมความเร็วด้วยวิธีเพิ่มความหนักหรือความต้านทานให้นักกีฬาต้องออกแรงในการเคลื่อนไหวมากขึ้น เช่นการวิ่งขึ้นเนินนั้นจะช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหน่วยยนต์เส้นใยกล้ามเนื้อขาว (The white muscle motor unit) ให้สามารถทำหน้าที่ได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะทางในการฝึก 10 เมตร ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่านักกีฬาถูกกระตุ้นให้กล้ามเนื้อได้ออกแรงเต็มที่เฉพาะในช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มความเร่งเท่านั้น

พลังของกล้ามเนื้อ

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบด้านพลังของกล้ามเนื้อ ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีพลังสูงสูด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เหตุผลก็เพราะว่าเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการฝึกเชิงซ้อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านระดับความหนักสูงที่ 85 % ของ 1RM มีจังหวะในการยกน้ำหนักเร็ว แล้วตามด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดซึ่งเป็นลักษณะของพลัยโอเมตริกแนวราบ มีเป้าหมายในการฝึกเพื่อทำให้เกิดพลังระเบิด (Explosive power) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีผลให้ความยาวช่วงก้าวที่เป็นปัจจัยหนึ่งในช่วงการเร่งความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Bompa (1993) ที่ได้สรุปว่านักกีฬาจำเป็นต้องมีการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อของตนเพื่อใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ของการแข่งขัน สำหรับการวิ่งระยะสั้นนั้น นักวิ่งจะต้องพัฒนาพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเริ่มต้นออกวิ่ง (Starting power) และพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว (Acceleration power) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อ

ที่จะออกแรงได้อย่างรวดเร็วโดยมีพื้นฐานมาจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้ออาศัยการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch fiber) เป็นหลัก สอดคล้องกับ Sleivert and Taingahue (2003) ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเริ่มต้นออกวิ่ง (Sprint start) ของความเร็วที่ระยะ 5 เมตร กับความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ พบว่า พลังสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเริ่มต้นออกวิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสรุปไว้ว่าการพัฒนาความแข็งแรงแบบกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า (Concentric force development) นั้นจำเป็นสำหรับความสามารถในการเริ่มต้นออกวิ่ง การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาการฝึกเพียง 6 สัปดาห์ก็สามารถพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อให้เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองกลุ่มที่ได้รับการฝึกเสริม และงานวิจัยของ Sozbir (2016) ที่พบว่าการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก็สามารถพัฒนาพลังในการกระโดดและการทำงานของกล้ามเนื้อช่วงล่างของร่างกายได้ นอกจากนี้ Ingle, Sleap, and Tolfrey (2006) รายงานว่า การฝึกเชิงซ้อนเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ในวัยรุ่นเพศชาย มีผลทำให้พลังสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้งสอดคล้องกับ Frost et al. (2015) ที่พบว่าการฝึกด้วยแรงดันอากาศ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์มีผลทำให้พลังสูงสุดและแรงสูงสุดเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าในการวิจัยครั้งนี้ผลของการฝึกเชิงซ้อนทำให้นักกีฬาต้องออกแรงอย่างเต็มที่และรวดเร็ว ทั้งจากการฝึกด้วยแรงต้านและการฝึกพลัยโอเมตริกเพื่อสร้างพลังระเบิดอันมีผลต่อการปรับตัวของระบบกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อทำงานที่จะหดตัวเอาชนะแรงต้านได้อย่างรวดเร็ว และจากการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดกล้ามเนื้อจะมีการยืดยาวออกตามด้วยการหดสั้นเข้าอย่างฉับพลัน ตามหลักสรีรวิทยานั้นแสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อที่มีการยืดยาวออกก่อนที่จะหดตัวจะสามารถหดตัวได้อย่างเต็มกำลังและรวดเร็วมากขึ้น โดยกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกยังไปเสริมคุณสมบัติของกล้ามเนื้อให้มีความยืดหยุ่น (Elasticity) และกระตุ้นกลไกการเกิด cross bridge ของ actin และ myosin เพิ่มขึ้น (Herzog, 2008) ดังนั้นนักกีฬาจึงต้องการทั้งความแข็งแรงและความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นพื้นฐานรองรับที่สำคัญต่อการพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว

อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม แม้ว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 จะไม่มีความแตกต่างกันของพลังสูงสุด แต่ในภาพรวมแล้วค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดของกลุ่มทดลองที่ 1 มีการพัฒนามากกว่า กลุ่มทดลองที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่ากล้ามเนื้อมีการทำงานหนักว่าเมื่อนักกีฬาต้องวิ่งบนพื้นลาดเอียง ทำให้เกิดการกระตุ้นการระดมหน่วยยนต์มากกว่า ตลอดจนเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีความเชื่อมโยงกับการสร้างพลังของกล้ามเนื้อ จะเห็นได้ว่าเกิดจากการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สร้างแรงและความเร็วร่วมกัน ดังที่ Newton and Kraemer (1994) กล่าวว่าพลังกล้ามเนื้อเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ออกแรงได้อย่างเต็มที่และรวดเร็วซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความสัมพันธ์กันของแรงและความเร็ว เพราะฉะนั้นนักกีฬาวิ่งระยะสั้นจึงจำเป็นต้องออกแรงถีบเท้าให้มากที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในช่วงของการเร่งความเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการทำงานของกล้ามเนื้อที่หดตัวอย่างเต็มที่และสามารถพัฒนาแรงภายในระยะเวลาอันสั้น

ในส่วนขององค์ประกอบด้านแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุดที่เป็นส่วนสนับสนุนให้เกิดพลังสูงสุดนั้น จากผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เหตุผลที่ทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีการพัฒนาของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุดได้ดีขึ้นเนื่องมาจากโปรแกรมการฝึกของทั้งสองกลุ่มนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ โดยในขั้นตอนแรกของการฝึกเชิงซ้อนนั้นเป็นการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้ความหนักระดับสูงซึ่งมีผลต่อการพัฒนาเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วอันมีคุณสมบัติที่สามารถหดตัวได้เร็วและผลิตแรงได้มาก สอดคล้องกับ Rahimi and Behpur (2005) ที่ทำการเปรียบเทียบผลของการฝึกของกลุ่มฝึกพลัยโอเมตริก กลุ่มฝึกด้วยน้ำหนัก และกลุ่มฝึกเชิงซ้อน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มฝึกเชิงซ้อนมีผลทำให้เกิดการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้มากกว่ากลุ่มฝึกพลัยโอเมตริกและกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักเพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของ Thompson et al. (2017) ที่พบว่าการฝึกเชิงซ้อนเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ในนักกีฬาระดับมัธยม อายุระหว่าง 15-18 ปี มีผลทำให้ความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและความสามารถในการเร่งความเร็วสำหรับนักวิ่งระยะสั้นนั้น จะต้องการความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในการถีบเท้าออกจากที่ยันเท้าเพื่อให้ร่างกายพุ่งไปข้างหน้า โดยในช่วงเท้าสัมผัสพื้นเพื่อถีบเท้า (Propulsive phase) จะเกิดแรงที่กระทำต่อพื้นซึ่งมีผลต่อการสร้างอัตราเร่งให้กับนักวิ่ง (Mero 1988; Mero et al. 1983) สอดคล้องกับ Young et al. (1995) และ Wisloff et al. (2004) ที่พบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนั้นมีอิทธิพลต่อความสามารถในการเร่งความเร็ว

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ยังพบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุดมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

.05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มทดลองที่ 1 นั้นต้องวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง กล้ามเนื้อจะต้องออกแรงมากกว่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Gottschall and Kram (2005) พบว่า ขณะวิ่งขึ้นเนิน Propulsive force peaks จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับการวิ่งในแนวราบ โดยเมื่อวิ่งขึ้นเนินที่มุม 9 องศา Propulsive peaks จะเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์ โดย Faulkner et al. (1986) ได้สนับสนุนผลการศึกษาครั้งนี้ที่กล่าวว่าการฝึกที่ระดับความหนักสูง ต้องใช้ความพยามยามอย่างมากในการเอาชนะแรงต้านทาน จนเกิดการระดมหน่วยยนต์และการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ทำให้ได้แรงที่มากขึ้น สอดคล้องกับ Katch et al. (2013) ที่ได้กล่าวว่าการออกแรงที่น้อยจะมีการระดมหน่วยยนต์จำนวนไม่มากแต่ถ้ามีการออกแรงที่มากจะมีการระดมหน่วยยนต์ที่มากตามไปด้วยทำให้ระบบสั่งการ (Axon neurons) ทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

สำหรับองค์ประกอบด้านความเร็วของบาร์เบลสูงสุด จากผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีความเร็วของบาร์เบลสูงสุด เพิ่มขึ้นหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนในการวิจัยนี้ใช้ความหนักในการฝึก 85% ของความสามารถในการยกน้ำหนักได้สูงสุด 1 ครั้ง ด้วยจังหวะในการยกน้ำหนักเร็วที่สุด ซึ่งในงานวิจัยของ Turner et al. (2012) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของความสามารถในการยกน้ำหนักได้สูงสุด 1 ครั้ง (%1RM) ที่แตกต่างกันระหว่าง 20-100% ของ 1RM ขณะทำท่า Jump squat พบว่า ยิ่งร้อยละของ 1RM มากขึ้นเท่าใดมีผลให้พลังสูงสุดและความเร็วสูงสุดลดลงตาม ไปด้วย เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Cormie et al. (2007) พบว่าเมื่อความหนักของร้อยละของความสามารถในการยกน้ำหนักได้สูงสุด 1 ครั้ง มากขึ้นเท่าใดความเร็วสูงสุดจะมีค่าลดลง สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องฝึกแรงต้านด้วยแรงดันอากาศมาใช้ในการฝึกซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับนักกีฬาระดับเยาวชนก็เพราะว่าสามารถทำการยกได้เร็วมากกว่าการการฝึกด้วยน้ำหนักที่เคลื่อนไหวอิสระเมื่อแรงต้านที่ให้เท่ากัน ซึ่งแรงดันอากาศสามารถเพิ่มความเร็วในการยกได้จึงเกิดความเร่งได้มากกว่า โดยจะมีแรงขณะยกสม่ำเสมอตลอดช่วงการเคลื่อนไหว และสามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในนักกีฬาขณะเริ่มทำการยกในช่วงแรกอีกด้วยเพราะจะไม่มีการกระชากกลับของเครื่องเมื่อเสร็จสิ้นการยกน้ำหนัก ขณะที่การฝึกด้วยน้ำหนักที่เคลื่อนไหวอิสระจะต้องออกแรงอย่างมากเพื่อสร้างความเร่งซึ่งอาจทำอันตรายต่อเอ็นและข้อต่อได้ง่าย สอดคล้องกับ Frost, Cronin, and Newton (2008) ที่ทำการเปรียบเทียบการฝึกด้วยแรงดันอากาศกับการฝึกด้วยน้ำหนักที่เคลื่อนไหวอย่างอิสระ ผลการวิจัยพบว่าการฝึกด้วยแรงดันอากาศส่งผลต่อการพัฒนาของความเร็วสูงสุดได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลังการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัปดาห์ที่ 6 พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม มีความเร็วของบาร์เบลสูงสุดไม่แตกต่างกัน

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

จากผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่า มากกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผู้วิจัยเลือกท่าที่ใช้ในการฝึกด้วยแรงต้านคือท่าฮาล์ฟสคอว์ท ซึ่งเป็นท่าที่ใช้ฝึกกลุ่มกล้ามเนื้อที่จำเป็นในการพัฒนาการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น (Hedrick and Anderson, 1996) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Marchetti et al. (2016) ได้เปรียบเทียบการทำท่าสคอว์ทด้วยมุมของเข่าที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยมุม 20 องศา 90 องศา และ 140 องศา ผลการวิจัยพบว่าการทำท่าสคอว์ทด้วยมุม 90 องศา ทำให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle activation) มากที่สุด และการศึกษาของ ชนินทร์ชัย (2544) ที่พบว่าการฝึกเชิงซ้อนและการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก มีผลทำให้ความแข็งแรงแบบไอโซโทนิกของกล้ามเนื้อขาต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Nesser et al. (1996) ได้รายงานว่าพบความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเวลาในการวิ่ง 40 เมตร และแรงทอร์คสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่า

อีกเหตุผลประการหนึ่งที่ทำให้หลังการทดลองทั้งสองกลุ่มนั้นมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นั้น อาจเป็นเพราะว่าในขั้นตอนที่สองของการฝึกเชิงซ้อนเป็นการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยท่าวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนไหวร่างกายที่เป็นการกระโดดในแนวราบพุ่งไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว โดยขานำจะทำการยกเข่าไปข้างหน้าให้ต้นขาขนานกับพื้น ขณะที่ขาหลังเมื่อถีบเท้าพ้นพื้นสะโพก เข่า และข้อเท้านั้นเหยียดสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Frick et al. (1995) ที่พบว่าการทำงานของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าจะสูงมากในช่วง 5 เมตรแรกหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดบทบาทลงจนถึงระยะ 30 เมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cotte and Chatard (2011) ที่ได้ทำการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าของนักกีฬาฟุตบอลพรีเมียร์ลีกสัมพันธ์กันกับเวลาในช่วงเร่งความเร็ว ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงการเคลื่อนไหวของร่างกายในระยะเร่งความเร็วจะพบว่าแตกต่างกับการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดและกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้งานก็มีความแตกต่างกันด้วย โดย Bosch and Klomp (2001) ได้สรุปไว้ว่าท่าทางและวิธีในการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเริ่มต้นออกวิ่งแล้วเร่งความเร็วกับในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง โดยเฉพาะระยะเริ่มต้นออกวิ่ง (Start phase) นักวิ่งจะต้องวางเท้าที่พื้นในลักษณะงอเข่าและสะโพก ซึ่งเอื้อต่อการทำงานของขาได้อย่างเต็มที่ เมื่อจัดท่าทางของร่างกายให้ทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่

พื้นอยู่ด้านหลังของหัวเข่าและอยู่ด้านหน้าของสะโพกทำให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกทำงานแบบความยาวลดลงได้อย่างเต็มที่ในลักษณะแรงระเบิด โดยกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris
ซึ่งทำหน้าที่เหยียดเข่าจะทำงานร่วมกับกล้ามเนื้อ Gluteus maximus ซึ่งทำหน้าที่เหยียดสะโพก

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 นั้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าทั้งสองกลุ่มนั้นมีการทำงานของข้อต่อต่าง ๆ จากลักษณะที่มีการเคลื่อนไหวที่เหมือนกันในกระบวนการฝึกเชิงซ้อน แต่เมื่อดูในภาพรวมแล้วกลุ่มทดลองที่ 1 มีแนวโน้มในการพัฒนามากกว่า ซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดจากการที่กล้ามเนื้อต้องออกแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง โดยในการศึกษาของ Yokozawa, Fujii, and Ae (2007) ได้เปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อช่วงล่างของร่างกายขณะทำการวิ่งบนพื้นราบกับวิ่งขึ้นเนิน พบว่าแรงท้อค (Torque) ของกล้ามเนื้อ Rectus femoris ที่เป็นหลักของกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (Hip flexion) และกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Knee extension) ขณะวิ่งขึ้นเนินมีค่ามากกว่าวิ่งบนพื้นราบอีกด้วย ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่า นั้นมีความสำคัญต่อความสามารถในการเร่งความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น นักวิ่งนั้นจะต้องพัฒนาพลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็วประกอบไปด้วย กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กล้ามเนื้อเหยียดเข่า และกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า (Weineck, 1990; Klaus and Günter, 1995) ดังนั้นในการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหล่านี้ จะต้องใช้ความหนักในระดับที่สามารถระดมเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วมาทำงานได้ดังที่ ชูศักดิ์ และกันยา (2536) ได้รายงานว่า ความแข็งแรงที่พัฒนาได้จากการฝึกชนิดไอโซโทนิกจะเกี่ยวข้องกับความเร็วมากกว่าการฝึกไอโซเมตริก เพราะฉะนั้นจึงสามารถพัฒนาความเร็วด้วยการพัฒนาความแข็งแรงร่วมด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการนำสัญญาณประสาทขณะมีการทำงานของกล้ามเนื้อ (Active condition) ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และกล้ามเนื้อ Soleus ผลการวิจัยเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียงมีผลทำให้ Mmax ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus เพิ่มมากขึ้นหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น แต่ค่า Hmax ของทั้งสองกลุ่มกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันกับก่อนการทดลอง ส่วนกลุ่ม

ทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุมพบว่าตัวแปรทั้งสองของทั้งสองมัดกล้ามเนื้อ ไม่แตกต่างจากก่อนการทดลองเช่นกัน โดยการพัฒนาของค่า Mmax ในกลุ่มทดลองที่ 1 นั้น จะเห็นได้ว่า Mmax นั้นเป็นค่าที่แสดงถึงการตอบสนองของกล้ามเนื้อโดยเป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากทั้งกล้ามเนื้อและ ใยประสาทที่อยู่ในกล้ามเนื้อนั้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความแรงของไฟฟ้าที่กระตุ้นมากถึงระดับเทรดโฮลด์ของ α motoneurons ของหน่วยประสาทยนต์ของกล้ามเนื้อกลุ่มที่หดตัวเร็ว (Palmieri, Ingersoll and Hoffman, 2004) นั่นแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมการฝึกของกลุ่มนี้ที่มีลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อให้ออกแรงได้อย่างเต็มที่และรวดเร็วอีกทั้งกระตุ้นการระดมหน่วยยนต์ให้ทำงานมากขึ้นมากกว่ากลุ่มอื่น เพราะการวิ่งบนพื้นลาดเอียงมุมองศาจะไปเพิ่มความพยายามให้กล้ามเนื้อได้ออกแรงหดตัวมากกว่า สอดคล้องกับ Ebben and Watt (1998) ที่กล่าวว่าการฝึกเชิงซ้อนมีผลทำให้เกิดการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วมาทำงานเป็นส่วนใหญ่ อีกเหตุผลประการหนึ่งอาจเป็นเป็นไปได้ว่าระยะเวลาในการฝึกในการศึกษาครั้งนี้เพียง 6 สัปดาห์นั้นไม่เพียงพอต่อการปรับตัวของระบบประสาท โดยในงานวิจัยของ Aagaard et al. (2002) ได้พบว่า H-reflexes นั้นเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกความแข็งแรง 14 สัปดาห์ และการวิจัยของ หฤทัย ราตรี และ อารีรัตน์ (2555) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกความอดทนและความเร็วต่อเฮช-รีเฟล็กซ์และสมรรถภาพทางกายในนักกีฬาฟุตซอล เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าค่า Mmax ในสัปดาห์ที่ 12 หลังการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกความเร็วมีค่าสูงกว่าก่อนการฝึกและสัปดาห์ที่ 8 โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่า H-reflex (Hmax) และ M-wave (Mmax) ของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ Soleus อย่างไรก็ตามในการศึกษาที่ 2 ของการวิจัยครั้งนี้เมื่อดูภาพรวมแล้วหลังการทดลองกลุ่มควบคุมจะมีค่า H-reflex น้อยกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 และค่า H-reflex ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis จะน้อยกว่ากล้ามเนื้อ Soleus ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสัดส่วนของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันของทั้งสองมัดกล้ามเนื้อโดยกล้ามเนื้อ Soleus นั้นเป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วยเส้นใยชนิดหดตัวช้าส่วนใหญ่ ขณะที่กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis นั้นมีเส้นใยชนิดหดตัวเร็วในสัดส่วนที่มากกว่า (Edgerton et al., 1975) สอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ของ Buchthal and Schmalbruch (1970) ที่รายงานว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้ามีความไวในการตอบสนองเร็วกว่าทำให้ค่าแอมพลิจูดของ H-reflex สูงกว่า ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ในกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มมีการฝึกเชิงซ้อนที่พัฒนาความสามารถของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กล้ามเนื้อในการที่จะผลิตแรงที่สูงและไปกระตุ้นกล้ามเนื้อขาวที่มีคุณสมบัติในการหดตัวได้เร็วและแรงได้ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Gruber et al. (2007) ที่ได้เปรียบเทียบการฝึก Balance training กับ Ballistic strength training เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึก Balance training มีการลดลงของค่า H-reflex ส่วนการฝึกด้วย Ballistic strength training ไม่ส่งผลต่อการปรับตัวทางระบบประสาท (Neural adaptation) ของนักกีฬา นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า M-response และ H-reflex มีความสัมพันธ์แบบผกผัน โดยเมื่อความหนักของสิ่งเร้าที่มากระตุ้นมาก แอมพลิจูดของ H-reflex จะน้อย (Palmieri, Ingersoll and Hoffman, 2004; Kameyama et al. 1989) สอดคล้องกับการศึกษาของ Casabona et al. (1990) ที่พบว่า นักกีฬาที่ได้รับการฝึกซ้อมมีค่า Hmax น้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกซ้อม นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Ozmerdivenli et al. (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบค่า H-reflex ของกลุ่มนักวิ่งระยะสั้น กลุ่มนักวิ่งระยะไกล และบุคคลทั่วไปที่ไม่ใช่นักกีฬา พบว่า แอมพลิจูดของ H-reflex ในกลุ่มนักวิ่งระยะสั้นมีค่าน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาความเร็วและอัตราเร่งความเร็วในการวิ่งระยะสั้น จากผลการวิจัย พบว่ากลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับการฝึกต่างกันสองรูปแบบ คือกลุ่มทดลองที่ 1 ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง และ กลุ่มทดลองที่ 2 ได้รับการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ ต่างก็มีการพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็วได้ในช่วงระยะจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร และ 20 เมตร ซึ่งการฝึกทั้ง 2 แบบสามารถเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความเร็วให้กับนักกีฬาได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเริ่มต้นออกวิ่ง อย่างไรก็ตามหากนักกีฬามีช่วงระยะการฝึกซ้อมสั้นเพื่อเตรียมตัวในการแข่งขันผู้วิจัยขอเสนอแนะการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการพัฒนาที่ดีกว่าโดยเฉพาะช่วง 10 เมตรแรก คือความเร็วจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตร ความเร่งจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุด 10 เมตรและแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด มากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 และกลุ่มควบคุม นอกจากนี้กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของ Mmax ทั้งกล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis และ กล้ามเนื้อ Soleus หลังการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งเป็นตัวบ่งชี้และแนวโน้มของการระดมหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มอื่น

อย่างไรก็ตามนักกีฬาควรมีการฝึกความแข็งแรงพื้นฐานก่อนได้รับการฝึกเพราะอาจจะมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บได้เนื่องจากเป็นการฝึกที่มีระดับความหนักสูง นอกจากนี้แล้วนักกีฬาจะต้องมีทักษะการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดเป็นอย่างดีซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการวิ่งและเมื่อมีทักษะที่ดีแล้วนั้นจะสามารถเชื่อมโยงไปสู่การเคลื่อนไหวร่างกายขณะทำการวิ่งให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบในระยะเวลาที่แตกต่างกันเป็นช่วง ๆ เช่น 4 สัปดาห์ 6 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ เป็นต้น หรือศึกษาระยะเวลาในการคงอยู่ของผลการฝึก
2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบในกีฬาที่อาศัยพลังระเบิดของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งกับกีฬาที่เคลื่อนที่ในแนวหน้า-หลัง
3. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกเชิงซ้อนในขั้นตอนแรกที่เกี่ยวข้องกับการฝึกด้วยแรงต้านโดยเปรียบเทียบลักษณะของการฝึกด้วยแรงต้านที่ต่างกันไปเช่น ฝึกด้วยน้ำหนัก ฝึกด้วยแรงดันอากาศ และฝึกผสมผสานด้วยน้ำหนักกับแรงดันอากาศ
4. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเร่งความเร็ว เช่นแรงปฏิกิริยาต่อพื้น หรือลักษณะทางคิเนเมติกส์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

เจริญ กระบวนรัตน์.(2538). **เทคนิคการฝึกความเร็ว** ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักกริช กล้าผจญ.(2552).**การตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อและเส้นประสาท (Electrodiagnosis)**.เอกสารประกอบการสอน. ภาคเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เฉลิมวุฒิ อาภานุกูล. (2549). **ผลของการฝึกเสริมด้วยการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการเคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิดที่มีต่อการพัฒนาความคล่องแคล่วว่องไวของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล**.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.แขนงสรีรวิทยาการกีฬา.สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์.(2548). การพัฒนาความสามารถในการเร่งความเร็ว.**วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ.** สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม.

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์.(2545). **ผลของการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อการเร่งความเร็วของนักวิ่ง 100 เมตรทีมชาติไทย**.รายงานผลการวิจัย ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัย ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์.(2544). **การเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนักการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และการฝึกเชิงซ้อน ที่มีต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขา.**วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต.ภาควิชาพลศึกษา.คณะครุศาสตร์.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชินวัฒน์ ไข่เกตุ. (2545). **ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกต่อการเพิ่มความเร็วในการออกตัวของนักวิ่งระยะสั้น** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์.(2528). **อิเล็คโทรมัยโอกราฟีย์**. ภาควิชาสรีรวิทยา. คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุเทพมหานคร.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัฒน์. (2536). **สรีรวิทยาการออกกำลังกาย.** ธรรมกมลการ กรุงเทพฯ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดรุณวรรณ จักรพันธุ์.(2544). **เวชศาสตร์การกีฬา 1**.เอกสารประกอบการสอน.สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภนารี บุษราคัมตระกูล.(2553). **สรีรวิทยา-พยาธิสรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อและกระดูก**. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.กรุงเทพฯ

พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์.(2551). **สรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ**.พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.กรุงเทพฯ.

เพียรชัย คำวงษ์. (2537). **การฝึกกำลังกล้ามเนื้อด้วยวิธี Stretch – Shortening Exercise**.
สารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา 4(1) : 53.

หฤทัย จันธรรม ราตรี เรืองไทย และ อารีรัตน์ สุทธิธาดา. (2555). ผลของการฝึกความอดทนและ
ความเร็วต่อเฮช-รีเฟล็กซ์และสมรรถภาพทางกายในนักกีฬาฟุตซอล.**วารสารวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีการกีฬา**.ปีที่ 12 ฉบับที่ 2, ธันวาคม.

สนธยา สีละมาด.(2547). **หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา.** กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวลักษณ์ ศิริปัญญา.(2550). **ผลของการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยน้ำหนักกับการ
เคลื่อนที่ในลักษณะแรงระเบิดที่มีต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาเซปักตะกร้อหญิง
ทีมชาติไทย.**วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา.จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

ศราวุฒิ คุณาธรรม. (2549).**การศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้เวลาพักระหว่างการ
ฝึกด้วยน้ำหนักและการฝึกพลัยโอเมตริกแตกต่างกันที่มีต่อความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อ
ขา**.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริรัตน หิรัญรัตน์. (2551).**ชีวกลศาสตร์การกีฬา**.พิมพ์ครั้งที่ 3 .สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย.กรุงเทพมหาน

ภาษาอังกฤษ

Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, S., and Dyhre-Poulsen, P. (2002).
Neural adaptation to resistance training: Changes in evoked V-wave and H-reflex
responses. **Journal of Applied Physiology** (Bethesda, Md. : 1985). 92. 2309-18.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Alexander, MJ. (1989).The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. **Canadian Journal of Sport Sciences**. 14(3):148-157.

Allerheiligen, W.B. (1994) .**Speed development and plyometric training** In T.R. Baechle (ec Essentials of strength Training and Conditioning. Human Kinetics,: 314-344.

Arbeit, E. (1998). Principles of the multi-year training process. **New Studies in Athletic** 13:4:21-28.

Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal musc in man. **Acta Physiologica Scandinavica.** 91(3):385-392.

Barrett, K., Barman, S. Boitano, S., Brooks, H., Weitz, M., Kearns, B, and Ganong, W. (20 **Ganong's Review of Medical Physiology**. New York: 23rd Edition, McGraw-Hill Medical

Basmajian, J.V. and De Luca, C.J. (1985). **Muscle alive: Their function revealed b electromyography**. Baltimore: William and Wilkins.

Baechle, T.R. and Earle, R.W. (2000). **Essentials of strength training and conditionin** Human Kinetics. ISBN. 0736000895.

Behringer, M., A. vom Heed, Z. Yue, and J. Mester. (2010). Effects of resistance training children and adolescents: A meta-analysis. **Pediatrics**. 126:e1199-e1210.

Bompa, T. (1993).**Periodization of strength: the new wave in strength training**. Toronto : Veritas Publishing.

Bompa, T. and Carrera, M. (2015). **Conditioning young athletes**. Champaign IL: Human Kinetics.

Bompa, T. and Buzzichelli, C. (2015). **Periodization training for sports**, 3rd ed. Champaign IL: Human Kinetics.

Bosch, F. and Klomp, R. (2001). **Running : Biomechanics and exercise physiology applied in practice.** Maarssen, The Netherlands : Churchill Livingstone.

Bruggemann, G. and Glad, B. (1990). Time analysis of the sprint events. In G. Bruggemann and B. Glad (eds.) **Scientific research project at the games of the XXIVth Olympiad-Seoul 1988,** pp. 11-89. Monaco : International Athletic Foundation.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Buchthal, F. and Schmalbruch, H. (1970). Contraction times of twitches evoked by H-reflexes. **Acta Physiologica Scandinavica**; 80: 378-82.

Cai, Z. Y., Hsu, C. C., Su, C. P., Lin, C. F., Lin, Y. A., Lin, C. L., and Hsu, M. C. (2010). Comparison of lower limb muscle activation during downhill, level and uphill running. **Isokinetics and Exercise Science,** 18(3), 163-168.

Cappellini, G., Ivanenko, Y., Poppele, R., and Lacquaniti, F. (2006). Motor Patterns in Human Walking and Running. **Journal of Neurophysiology**. 95. 3426-37.

Carter, J., and Greenwood, M. (2014). Complex training reexamined: Review and recommendations to improve strength and power. **Strength and Conditioning Journal**, 36(2), 11-19.

Cohen, J. (1988). **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd ed. Hillsdale, N.J. : L. Erlbaum Associates.

Coh, M., Peharec, S., Bacic, P., and Kampmiller. T (2009). Dynamic factors and electromyographic activity in a sprint start. **Biology of Sport**. 26.

Chelly, M.S., Ghenem, M.A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., and Shephard, R.J.(2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 24(10):2670-2676.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Chu, D.A. (1992). **Jumping into Plyometrics**. Champaign, Illinois : Human Kinetics.

Chu, D.A. (1996). **Explosive Power and Strength: Complex Training for Maximum Results.** Champaign, Ill: Human Kinetics.

Chu, D.A. and Plummer, L. (1984). The Language of Plyometric. **National Strength and Conditioning Association Journal**: October, Volume 6, Issue 5, p30-31.

Clarys, J.P. and Cabri, J. (1993). Electromyography and the study of sports movement. **Journal of Sports Science**. 379-448.

Cormie, P., McCaulley, G., Triplett, N., McBride, J. (2007). Optimal Loading for Maximal Power Output during Lower-Body Resistance Exercises. **Medicine and Science in Sports and Exercise.** 39. 340-9.

Cotte, T. and Chatard, J. (2011). Isokinetic strength and sprint times in English Premier League football players. **Biology of Sport**. 28. 89-94. 10.5604/942736.

Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. **Sports Medicine**. 24(3):147-156.

Diallo, O, Dore, E, Duche, P, and Van Praagh. E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training program on physical performance in prepubescent soccer players. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 41: 342–348.

Dintiman, G. and Ward, R. (1998). **Sports Speed**. USA; Champaign IL: Leisure Press.

Ebben, W. and Watts, P. (1998). A review of combined weight training and plyometric training modes: Complex training. **Strength and Conditioning**. 20(5), 18-27

Ebben, W., Davies, J., and Clewien, R. (2008). Effect of the Degree of Hill Slope on Acute Downhill Running Velocity and Acceleration. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 22. 898-902.

Edgerton, V.R., J.L. Smith, and D.R. Simpson.(1975). Muscle fibre type populations of human leg muscles. **The Histochemical Journal**. 7: 259–266.

Elvira, J., Avila-Gandía, V., Palao, J., and Alzaraz, P. (2009). Effects of uphill running on sprinting technique in football players**. Proceeding of the 27th International Conference on Biomechanics in Sports**.

Faigenbaum, A. (2000). Strength training for children and adolescents. **Clinics in Sports Medicine**. 19(4):593-619.

Faigenbaum, A., Milliken, L., LaRosa Loud, R., Burak, B., Doherty, C., and Westcott, W. (2002). Comparison of 1 day and 2 days per week of strength training in children. **Research Quarterly for Exercise and Sport.** 73: 416–424.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Faigenbaum, A., Lloyd RS., MacDonald J., Myer, GD. (2016). Citius, Altius, Fortius: benefici effects of resistance training for young athletes: Narrative review. **British Journal Sports Medicine**. 50(1):3-7.

Faigenbaum, A., Zaichkowsky, L., Westcott, W., Micheli, L., and Fehlandt, A. (1993). Th effects of a twice per week strength training program on children. **Pediatr Exercise Science.** 5: 339–346.

Faulkner, JA., Claflin DR., and McCully, KK. (1986). **Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles**. Human muscle power. Human Kinetics, Champaign, Ill., pp 81-90.

Frick, U., Schmidtbleicher, D., and Stutz, R. (1995). Muscle activation during acceleration phase in sprint running with special reference to starting posture. **XVth Congress of the International Society of Biomechanics.** Jyvaskyla, Finland.

Frishberg, B.A. (1983). An analysis of overground and treadmill sprinting. **Medicine and Science in Sports and Exercise.** 15,478–485.

Frost, D., Bronson, S., Cronin, J., and Newton, R. (2015). Changes in maximal strength, velocity and power following eight weeks of training with pneumatic or free weight resistance. **Journal of Strength and Conditioning Research**. National Strength & Conditioning Association. 30(4):934-44.

Frost, D., Cronin, J., and Newton, R. (2008). A comparison of the kinematics, kinetics and muscle activity between pneumatic and free weight resistance. **European Journal of Applied Physiology**. 104. 937-56.

Goswami, B., Roy, AS., Dalui, R., and Bandyopadhyay, A. (2014). Impact of pubertal growth on physical fitness. **American Journal of Sports Science and Medicine.** 2: 34–39.

Gottschall, J. and Kram, R. (2005). Ground reaction forces during downhill and uphill running. **Journal of Biomechanics**. 38. 445-52.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Gruber, M., Taube, W., Gollhofer, A., Beck, S., Amtage, F., and Schubert, M. (2007). Training-Specific Adaptations of H- and Stretch Reflexes in Human Soleus Muscle. **Journal of Motor Behavior.** 39. 68-78. 10.3200/JMBR.39.1.68-78.

Hedrick, A. L. and Anderson, J. C. (1996). The vertical jump: A review of the literature and a team case study. **Strength and Conditioning Journal**.18, 7–12.

Herrero, J.A., Izquierdo, M., Maffiuletti, N.A., and Lopez, J. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. **International Journal of Sports Medicine.** 27(7):533-539.

Herzog, W., Leonard, T.R., Joumaa, V. and Mehta, A. (2008). Mysteries of muscle contraction. **Journal of Applied Biomechanics**, 24, 1-13.

Huber, J. (1987). Increasing a driver's vertical jump through plyometric training. **National Strength and Conditioning Association Journal**, 9: 34 -36.

Hunter, J., Marshall, R., and McNair, P. (2005). Relationships between Ground Reaction Force Impulse and Kinematics of Sprint-Running Acceleration. **Journal of Applied Biomechanics**. 21. 31-43.

Ingle, L., Sleap, M., and Tolfrey, K. (2006). The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. **Journal of Sports Sciences**. 24. 987-97.

Jacobson, B. H. and Kulling, F. A. (1989). Effect of resistive weight training in prepubescents. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. 11(3), pp. 96-99.

Jarver, J. (1995). **Sprints and relays: Contemporary theory, technique and training**. Tafnews Press, USA.

Jonhagen, S., Ericson, MO., Németh, G., and Eriksson, E. (1996). Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**.; 6(1):15-21.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kameyama, O., Hayes, KC., and Wolfe, D. (1989). Methodological considerations contributing to variability of the quadriceps H-reflex. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**. 68: 277-282.

Katch, V., McArdle, W.D., and Katch, F. (2013). **Essentials of exercise physiology**: Fourth edition. Lippincott William&Wilkins.

Klaus, W. and Günter, T. (1995). Relative activity of hip and knee extensors in sprinting - implications for training. **New Studies in Athletics**. 10:1; 29-49.

Konrad, P. (2006). **The ABC of EMG**. A practical introduction to kinesio electromyography.

Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 20: 441–445.

Kraemer, WJ., Patton, JF., Gordon, SE., Harman, EA., Deschenes, MR., Reynolds, K., and Dziados, JD. (1 9 9 5). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. **Journal of Applied Physiology**. 78(3), 976-989.

Kyröläinen, H., Avela, J., and Komi, PV. (2005). Changes in muscle activity with increasing running speed. **Journal of Sports Sciences**. 23(10):1101-1109.

Letzelter, S. (2006). The development of velocity and acceleration in sprints : A comparison of elite and juvenile female sprinters. **New Studies Athletics**; 21(3):15–22

Maćkała, K., Fostiak, M., and Kowalski, K. (2015). Selected determinants of acceleration in the 100m sprint. **Journal of Human Kinetics**. 45, 135–148.

Malina, R. (2006). Weight Training in Youth-Growth, Maturation, and Safety: An Evidence-Based Review, **Clinical Journal of Sport Medicine**. Volume 16 - Issue 6 - p 478-487.

Marchetti, P., Jarbas da Silva, J., Schoenfeld, B., Nardi, P., Pecoraro, S., Greve, J., and Hartigan, E. (2016). Muscle activation differs between three different knee joint-angle positions during a maximal isometric back squat exercise. **Journal of Sports Medicine**. 1-7.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, J., Tihanyi, J., and Jaric, S. (2001).Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 41: 159–164.

Mathew, J.D., Chandrakumar, M., Raju, C. and Rathinam, S. (2006). Comparative study of complex training and conventional training in developing linear power among school children. **Journal of Exercise Science and Physiotherapy**. Vol. 2: 71-78.

Mersmann, F., Charcharis, G., Bohm, S., and Arampatzis, A. (2017). Muscle and Tendon Adaptation in Adolescence: Elite Volleyball Athletes Compared to Untrained Boys and Girls. **Frontiers in Physiology**. 2017;8: 417.

Mero, A., Luhtanen P., and Komi, P.V. (1983). A biomechanical study of the sprint start. **Scandinavian Journal of Sports Sciences**. 5(1): 20-28.

Mero, A., and Komi, PV. (1986). Force-, EMG, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. 55(5):553-561.

Mero, A., and Komi, P.V. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. **Medicine and Science in Sports Exercise.** 19(3), 266-274.

Meylan, C. and Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 23. 2605-13.

Morin, J., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P. Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., and Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. **Frontiers in Physiology**. 6:404.

Nesser, TW., Latin, RW., Berg, K., and Prentice, E. (1996). Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 10:263–267

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Newton, R. U. and Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: Implications for mixed methods training strategy. **National Strength and Conditioning Association Journal**.October.p:20-31.

Olson, C,B, and Swett, C.P. (1969). Speed of Contraction of Skeletal Muscle :The Effect of Hypoactivity and Hyperactivity. **Archives of Neurology**. 20(3):263-270.

Ozmerdivenli, R., Bulut, S., Urat, T., and Ayar, A. (2002). The H- and T-reflex response parameters of long- and short-distance athletes. **Physiological research / Academia Scientiarum Bohemoslovaca.** 51. 395-400.

Paradisis, G. and Cooke, C. (2001). Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. **Journal of Sports Sciences**. 19. 149-59.

Paradisis, G. and Cooke, C. (2006). The effects of sprint running training on sloping surfaces. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 20(4), 767–777.

Paradisis, G., Bissas, A. and Cooke, C. (2009). Combined uphill and downhill sprint running training is more efficacious than horizontal. **International Journal of Sports Physiology Performance**. June; 4(2):229-43.

Paradisis, G., Cooke, C., and Bissas, A. (2013). Changes in leg strength and kinematics with uphill - downhill sprint training. **International Journal of Sports Science and Coaching**. 8. 543-556.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Palmieri, R., Ingersoll, C. and Hoffman, M. (2004). The Hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. **Journal of Athletic Training**; 39(3):268–277

Radford, P.F. (1990). **Physiology of Sports**.64-84.

Ramsay, J., Blimkie, C., Smith, K., Garner, S., Macdougall, J., and Sale, D. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 22: 605–614.

Ratel, S. (2011). High-intensity and resistance training and elite young athletes. **Medicine and Sport Science**. 2011;56:84-96.

Roberts, TJ., and Belliveau, RA. (2005). Sources of mechanical power for uphill running in humans. **The Journal of Experimental Biology**;208:1963-1970.

Roden, D., Lambson, R., and DeBeliso, M. (2014). The effects of a complex training protocol on vertical jump performance in male high school basketball players. **Journal of Sports Science**, 2, 21-26.

Rahimi, R. and Behpur, N. (2005). The effects of plyometric, weight and plyometric-weight training on anaerobic power and muscular strength. **FACTA UNIVERSITATIS Series: Physical Education and Sport**. 3. 81-91.

Rimmer, E. and Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**; 14(3): 295-301.

Ross, R., Ratamess, N., Hoffman, J., Faigenbaum, A., Kang, J., and Chilakos, A. (2009). The Effects of Treadmill Sprint Training and Resistance Training on Maximal Running Velocity and Power. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 23. 385-94.

Rovinelli, R. and Hambleton, R. (1977). On the use of content specialists in the assessmen criterion-referenced test item validity. **Dutch Journal of Education Research**, 2, 49-60.

Santos, E. and Janeira, M. (2008). Effects of complex training on explosive strength in adolescent male basketball players. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 22: 903–909.

Schiffer, J. (2008). Children and youths in athletics. **New Studies in Athletics**. 23:3; 7-18.

Schiffer, J. (2013). Athletics for children and adolescents. **New Studies in Athletics** .28:1/2; 7-20.

Slawinski, J., Dorel, S., Hug, F., Couturier, A., Fournel, V., Morin, J., and Hanon, C. (2008). E long sprint running: A comparison between incline and level training sessi **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 40. 1155-62.

Sleivert, G. and Taingahue, M. (2003). The relationship between maximal jump-squat power ar sprint acceleration in athletes. **European Journal of Applied Physiology**, 91: 46–52.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sloniger, MA., Cureton, KJ., Prior, BM., and Evans, EM. (1997). Lower extremity muscle activation during horizontal and uphill running. **Journal of Applied Physiology**. 83(6):2073–2079.

Solomonow, M., Baratta, R., Shoji, H., and D'Ambrosia, R. (1990). The EMG-force relationships of skeletal muscle; dependence on contraction rate, and motor units control strategy. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**. 30(3):141-152.

Sozbir, K. (2016). Effects of 6-week plyometric training on vertical jump performance and muscle activation of lower extremity muscles. **The Sport Journal**. p1-18.

Swanson, SC. and Caldwell, GE. (2000). An integrated biomechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 32:1146-1155.

Thompson, T., Berning, J.M., Harris, C.G., Kent, J., Adams, & Debeliso, M. (2017). The effects of complex training in male high school athletes on the back squat and vertical jump. **International Journal of Sports Science**, 7, 50-55.

Thordarson, DB**.** (1997). **Running Biomechanics**. Clinics in Sports Medecine:16(2):239–247.

Turner, A., Unholz, C., Potts, N., and Coleman, S. (2012). Peak power, force, and velocity during jump squats in professional rugby players. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 26. 1594-600.

Verkhoshansky, Y. (1986). Speed-strength preparation and development of streng endurance of athletes in various specializations. **Sou Sports Rev**. 21:120-124.

Wank, V., Frick, U., and Schmidtbleicher, D. (1998). Kinematics and electromyography of lower limb muscle in overground and treadmill running. **International Journal of Sports Medicine**. 19, 455–461.

Warden, P. (1986). **Sprinting and Hurdling**. The Crowood Press Mailbrough, London: 109.

Weineck, J. (1990). **Functional Anatomy in sports.**2nd ed. St.Louis: Mosby –Year Book.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wild, J., Bezodis, N., Blagrove, Ri., and Bezodis, I. (2011). **A biomechanical comparison of accelerative and maximum velocity sprinting: specific strength training considerations**. Professional Strength and Conditioning.

Wilson, GJ., Newton, RU., Murphy, AJ., and Humphries, BJ. (1993). The optimal training lc for the development of dynamic athletic performance. **Medicine and Science Sports and Exercise**. 25(11): 1279 – 1286.

Winnick, J.P., and Short, F.X. (1985).**Physical fitness testing of the disabled**. Human Kinetics. Publishers Inc., Champaign. Illinois: 165.

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., and Hof, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. **British Journal of Sports Medicine.** 38: 285-288

Yessis, M. (1994). Training for power sports-part 1. **National Strength and Conditioning Association Journal.** 16(5): 42-45.

Yokozawa, T., Fujii, N., and Ae, M. (2007). Muscle activities of the lower limb during level and uphill running. **Journal of Biomechanics**. 40(15), 3467-3475.

Young, W. (1992). Plyometrics: Sprint bounding and the sprint bound index. **National Strength and Conditioning Journal**. 14(4):18-22.

Young, W., McLean B., and Ardagna, J.. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. **The Journal of sports medicine and physical fitness.** 35(1):13–19.

Young, W., Benton, D., Duthie, G., and Pryor, J. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. **Strength and Conditioning Journal**. 23(2): 7–13.

Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K., and Kellis, S. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 45. 284-90.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง และโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านกับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ

1. รศ. ดร. อภิลักษณ์ เทียนทอง	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการพัฒนากีฬา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2. ผศ. ถาวร กมุทศรี	วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
3. พล.ต.ต. ศุภวณัฏฐ์ อาริยะมงคล	หัวหน้าผู้ฝึกสอนกรีฑาทีมชาติไทย และ อดีตนักกรีฑาทีมชาติไทย สมาคมกีฬากรีฑาแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
4. อาจารย์ เอกวิทย์ แสวงผล	มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตศรีสะเกษ ผู้ฝึกสอนกรีฑาทีมชาติไทย และ วิทยากรอาวุโส สหพันธ์กรีฑานานาชาติ
5. คุณเหรียญชัย สีหะวงษ์	ผู้ฝึกสอนกรีฑาทีมชาติไทย และโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร เจ้าของสถิติประเทศไทย วิ่ง 100 เมตร ชาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

แบบบันทึกข้อมูลการศึกษาที่ 1

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว

ชื่อ-สกุล .....เลขรหัส.....กลุ่มที่..... .....

วัน/เดือน/ปีเกิด..... น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

มุมองศาที่ทำการศึกษา.....

กลุ่มกล้ามเนื้อ	เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด					ระยะเวลาในการทำงานของ EMG ไปยังจุดสูงสุด					อัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ				
	ครั้งที่					ครั้งที่					ครั้งที่				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Gastrocnemius medialis															
Soleus															
Tibialis anterior															
Vastus lateralis															
Rectus femoris															
Biceps femoris															
Semitendinosus															
Gluteus maximus															
Pectoralis major															

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

แบบบันทึกข้อมูลการศึกษาที่ 2

ชื่อ-สกุล .....เลขรหัส.....กลุ่มที่.....

วัน/เดือน/ปีเกิด..... น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

ความเร็ว (Velocity)

สัปดาห์	10 เมตร (m/s)	20 เมตร (m/s)	30 เมตร (m/s)	40 เมตร (m/s)	50 เมตร (m/s)
ก่อนการทดลอง					
หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6					

พลังของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular power and Muscular strength)

ตัวแปรที่วัด	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6
พลังสูงสูด (Peak power) *-(W/kg)*		
แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) *-(N/kg)*		
ความเร็วของบาร์เบลสูงสุด (Peak barbell velocity) *-(m·s-1)*		
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Knee extension) *-Nm*		
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่า (Knee Flexion) *-Nm*		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท (Nerve Conduction Capacity)

H-Reflex (Hmax) *มีหน่วยวัดเป็นมิลลิโวลต์ (mV)*

กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis	**ก่อนการทดลอง**	**หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6**
ครั้งที่ 1		
ครั้งที่ 2		
ครั้งที่ 3		
ค่าเฉลี่ย		
กล้ามเนื้อ Soleus	**ก่อนการทดลอง**	**หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6**
ครั้งที่ 1		
ครั้งที่ 2		
ครั้งที่ 3		
ค่าเฉลี่ย		

Mmax *มีหน่วยวัดเป็นมิลลิโวลต์ (mV)*

กล้ามเนื้อ Gastrocnemius medialis	**ก่อนการทดลอง**	**หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6**
ครั้งที่ 1		
ครั้งที่ 2		
ครั้งที่ 3		
ค่าเฉลี่ย		
กล้ามเนื้อ Soleus	**ก่อนการทดลอง**	**หลังการทดลอง สัปดาห์ที่ 6**
ครั้งที่ 1		
ครั้งที่ 2		
ครั้งที่ 3		
ค่าเฉลี่ย		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

การทดสอบความเร็ว (Velocity test)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องวัดความสามารถในการเร่งความเร็ว (Timing gates) รุ่น Swift Speed light ผลิตโดยบริษัท Swift performance ประเทศออสเตรเลีย

ภาพที่ 11 แสดงการทดสอบความสามารถในการเร่งความเร็วจากจุดเริ่มต้นถึงจุด 10 เมตร 20เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร

ภาพที่ 12 แสดงการเตรียมเริ่มต้นออกวิ่งด้วยท่า 3 point start

ภาพที่ 13 แสดงการทดสอบความสามารถในการเร่งความเร็ว

วิธีการทดสอบ

1. ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องเครื่องวัดความสามารถในการเร่งความเร็ว
2. อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด
3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย 15 นาที
4. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเตรียมเริ่มต้นออกวิ่งโดยใช้ท่าที่พร้อมสำหรับการออกตัวในท่า 3 point start เมื่อได้ยินสัญญาณให้วิ่งด้วยความเร็วเต็มที่อย่างเต็มความสามารถสูงสุด

ภาคผนวก จ

การทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power test)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (FT-700 Power system) ผลิตโดยบริษัท Fitness Technology ประเทศออสเตรเลีย

2. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์การผลิตแรงและพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ Ballistic Measurement System เวอร์ชั่น 2011 ผลิตโดยบริษัท Fitness Technology ประเทศออสเตรเลีย

ภาพที่ 14 แสดงการทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการทดสอบ

1. ผู้วิจัยทำการทดสอบสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) เครื่อง โดยทำการตั้งค่าพื้นฐานทั้งแผ่นวัดแรง (Force plate) และระยะห่างระหว่าง bar จากพื้น เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำเป็นมาตรฐาน

2. อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด

3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย 15 นาที

3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยยืนบนแท่นวัดแรง จากนั้นทำการกระโดดในท่าสคอว์ทจัมพ์ต่อเนื่องกันจำนวน 5 ครั้งด้วยความสามารถสูงสุด

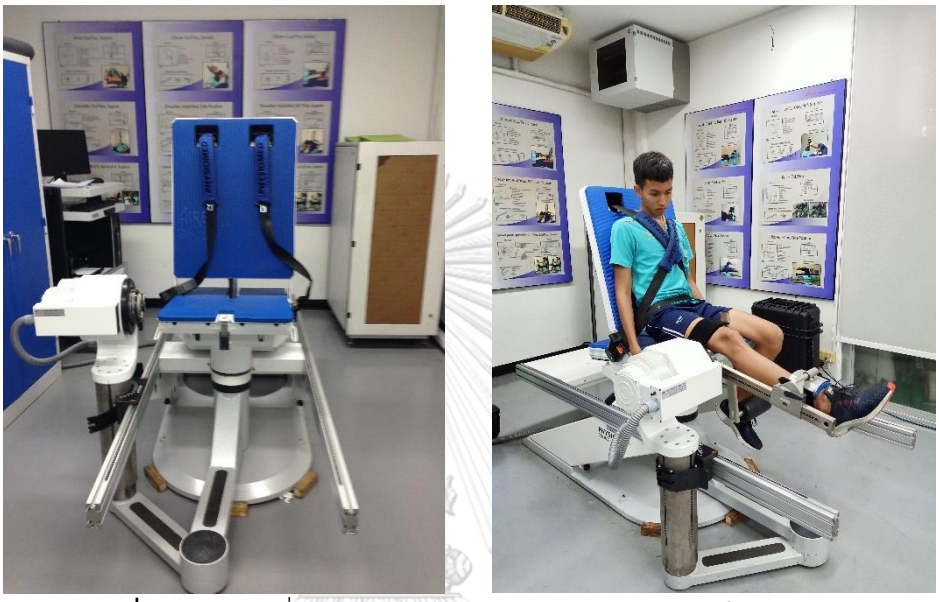
4. วิเคราะห์พลังของกล้ามเนื้อ โดยเลือกค่าสูงสุดจากการกระโดดประกอบด้วยค่าพลังสูงสุด แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวดิ่งสูงสุด และความเร็วของบาร์เบลสูงสุด ด้วยซอฟต์แวร์ Ballistic Measurement System เวอร์ชั่น 2011

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยระบบไอโซคิเนติก (Isokinetic strength test)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อ Physiomed รุ่น CON-TREX multiple joint system pro 3 ผลิตโดยบริษัท physiomed AG ประเทศเยอรมนี



ภาพที่ 15 แสดงเครื่องไอโซคิเนติก และการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่า

วิธีการทดสอบ

1. อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด

2. ผู้วิจัยทำการทดสอบสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) เครื่องโดยเลือกที่เมนู Find absolute zero ซึ่งเครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติ

3. ตั้งค่าโปรแกรมการวิเคราะห์ของเครื่องให้ทำการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Knee extension) และกล้ามเนื้องอเข่า (Knee flexion) และปรับความเร็วเชิงมุม 60 องศาต่อวินาที พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบให้พร้อม โดยปรับแกนหมุนข้อต่อของเครื่องให้ตรงกับรูปแบบการทดสอบที่เลือกไว้

4. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งบนเครื่องให้หลังพิงพนัก พร้อมทั้งรัดเข็มขัดช่วงลำตัวให้ร่างกายมีความมั่นคง จากนั้นให้ติดตั้งแกนที่ล็อคข้อเท้าขาข้างที่ไม่ได้ออกแรงเพื่อที่จะไม่ให้ผู้ทดสอบใช้ขาส่วนที่ไม่ได้ใช้งานออกแรงช่วย

5. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกแรงเหยียดเข่าและงอเข่า อย่างเต็มที่ด้วยความสามารถสูงสุด จำนวน 3 ครั้ง

6. วิเคราะห์ผลด้วยซอฟต์แวร์ CON-TREX MJ, Human Kinetics เวอร์ชั่น V 1.7.3 เพื่อหาค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสูงสุด (Torque max) มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

ภาคผนวก ช

การทดสอบความสามารถในการนำสัญญาณประสาท (Nerve conduction capacity test)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดความสามารถในการนำสัญญาณประสาท รุ่น MP36 และเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า รุ่น Human-safe stimulator STMHUM ผลิตโดยบริษัท BIOPAC Systems Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความเร็วการนำสัญญาณประสาท the AcqKnowledge 4.1 (BIOPAC Systems, Inc., Goleta, CA, USA)

ภาพที่ 16 แสดงการวัดค่า Mmax และ H-reflex ของกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และ Soleus

วิธีการทดสอบ

1. อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด
2. ทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมงานวิจัยด้วยแอลกอฮอลล์ พร้อมทั้งโกนขนที่อยู่ตามผิวหนังบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรด จากนั้นติดอิเล็กโทรด (Surface measuring electrode) บริเวณกึ่งกลางของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และ Soleus โดยติดในทิศทางเดียวกันกับการเรียงตัวของใยกล้ามเนื้อ
3. ผู้วิจัยตั้งค่าเครื่องไอโซคิเนติกในรูปแบบการทำงานไอโซเมตริก (Isometric) และการปรับแกนหมุนข้อต่อลักษณะ plantar flexion
4. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนอนคว่ำบนเตียง ส่วนของข้อเท้าจะเลยพ้นเตียง และวางเท้าข้างที่ทำการทดสอบบนแท่นรองรับ ปรับมุมของข้อเท้าให้ทำมุม 90 องศา พร้อมทั้งรัดข้อเท้าให้มีความมั่นคง
5. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกแรงกดปลายเท้าลงอย่างเต็มความสามารถ พร้อมกันนี้ผู้วิจัยทำการกระตุ้นไฟฟ้าด้วยเครื่องบริเวณ Posterior tibial nerve ตรงข้อพับของเข่า (The popliteal fossa) ของขาข้างที่ทำการทดสอบ ทั้งหมด 3 ครั้ง
6. วิเคราะห์ผลด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความสามารถในการนำสัญญาณประสาท the AcqKnowledge 4.1 โดยนำค่าเฉลี่ยของ Mmax และ H-reflex

ภาคผนวก ซ

การทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดคลื่นกล้ามเนื้อไฟฟ้า EMG Cometa รุ่น Wave plus EMG wireless ผลิตโดยบริษัท S.R.L. ประเทศอิตาลี

2. โปรแกรมการวิเคราะห์คลื่นกล้ามเนื้อไฟฟ้า EMG Cometa รุ่น Wave plus EMG wireless ผลิตโดยบริษัท S.R.L. ประเทศอิตาลี

วิธีการทดสอบ

1. อธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด

2. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที จากนั้นเช็ดทำความสะอาดร่างกายให้แห้ง

3. ทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมงานวิจัยด้วยแอลกอฮอลล์ พร้อมทั้งโกนขนที่อยู่ตามผิวหนังบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรดเพื่อลดการเกิดสัญญาณรบกวนใต้ขั้ว จากนั้นติดอิเล็กโทรดบริเวณกึ่งกลางของกลุ่มกล้ามเนื้อที่จะทำการศึกษา โดยติดในทิศทางเดียวกันกับการเรียงตัวของใยกล้ามเนื้อ

4. เปิดโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นกล้ามเนื้อไฟฟ้า โดยเลือกช่องสัญญาณและระบุมัดกล้ามเนื้อที่จะทำการศึกษา กำหนดความถี่ที่ 1000 Hz

5. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (100% of Maximum voluntary contraction; 100% MVC) ของกล้ามเนื้อทุกมัดโดยให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อในแต่ละมัดค้างไว้ 10 วินาทีด้วยท่าการทดสอบการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดที่แตกต่างกัน

6. บันทึกภาพการเคลื่อนไหวขณะวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด โดยใช้กล้องบันทึก (Sony NEX-EA50UH : 60fps, Japan) ที่ความเร็วการบันทึกภาพ 60Hz จำนวน 1 ตัว

7. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะได้รับการทดสอบการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบและบนพื้นลาดเอียงในมุม 3 องศา 6 องศา และ 9 องศา โดยแต่ละองศาใช้ระยะทางในการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด 10 เมตร โดยแต่ละเที่ยวใช้เวลาในการวิ่งประมาณ 5 วินาที ทำสลับกันในมุมที่แตกต่างกันไปทุก ๆ สัปดาห์จนครบทุกกลุ่ม นักกีฬาทำการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดจำนวน 5 เที่ยวแต่ละเที่ยวพัก 5 นาที

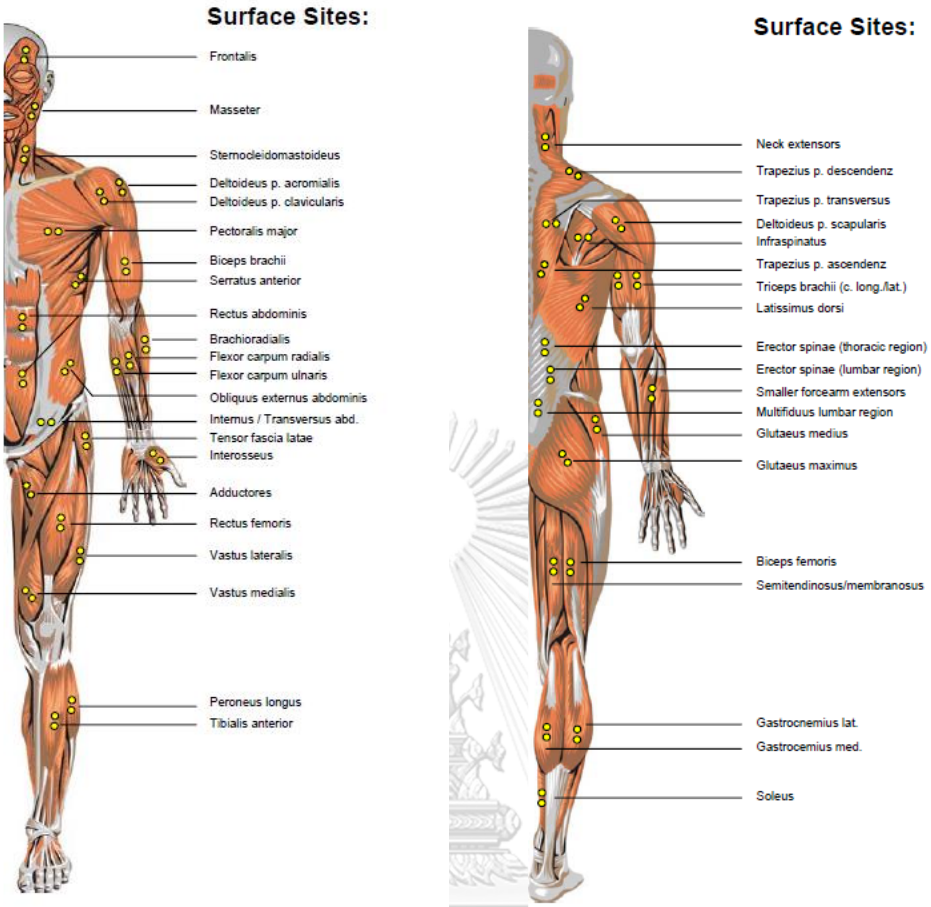
8. นำข้อมูลคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมาหาค่าเฉลี่ยตัวแปรต่าง ๆ คือ เปอร์เซ็นต์ความต่างศักย์ขณะกล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด ระยะเวลาในการทำงานของ EMG ไปยังจุดสูงสุด และอัตราการพัฒนาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ภาพที่ 17 แสดงอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนัง (Surface measuring electrode)

ภาพที่ 18 แสดงตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบไร้สาย (Wireless)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 19 แสดงตัวอย่างตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนังของกลุ่มกล้ามเนื้อต่างๆ (ที่มา : Peter Konrad, 2006)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ณ

การทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ภายใน 1 ครั้ง (1 อาร์เอ็ม)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum strength test) โดยเครื่องฝึกกล้ามเนื้อด้วยแรงดันอากาศ ยี่ห้อ Keiser รุ่น A 300 squat model1531 ผลิตโดยบริษัท Keiser corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

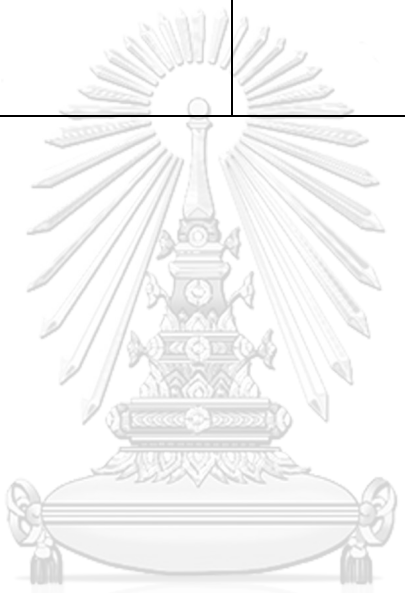
ภาพที่ 21 แสดงการทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ภายใน 1 ครั้ง

วิธีการทดสอบ

ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยหา 1 อาร์เอ็มใช้ท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half Squat) โดยดูจากน้ำหนักและจำนวนครั้งที่นักกีฬายกได้แล้วนำไปคำนวณหาความหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ภายใน 1 ครั้ง โดยใช้วิธีการเทียบและคำนวณตามวิธีการของ Beachle and Earle (2000) ซึ่งได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของน้ำหนักและจำนวนครั้งที่ยกได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ยกได้มากที่สุด 1 ครั้ง (1 RM) ไว้ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จำนวนครั้งที่ยกได้	เปอร์เซ็นต์ของ 1 อาร์เอ็ม
1 ครั้ง	100 เปอร์เซ็นต์
2 ครั้ง	95 เปอร์เซ็นต์
3 ครั้ง	93 เปอร์เซ็นต์
4 ครั้ง	90 เปอร์เซ็นต์
5 ครั้ง	87 เปอร์เซ็นต์
6 ครั้ง	85 เปอร์เซ็นต์
7 ครั้ง	83 เปอร์เซ็นต์
8 ครั้ง	80 เปอร์เซ็นต์
9 ครั้ง	77 เปอร์เซ็นต์
10 ครั้ง	75 เปอร์เซ็นต์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ญ

โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้าน กับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง

รูปแบบการฝึกเชิงซ้อน (Complex training) หมายถึง วิธีการฝึกกล้ามเนื้อรูปแบบหนึ่งที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อพร้อม ๆ กับการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ โดยใช้กระบวนการสองขั้นตอน คือขั้นที่หนึ่งเป็นการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้ความหนักสูงเพื่อระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็ว มาเป็นส่วนใหญ่ แล้วตามด้วยขั้นที่สอง คือ ใช้การฝึกพลัยโอเมตริก การฝึกความเร็ว หรือการฝึกทักษะเฉพาะทางทันทีในแต่ละชุดของการฝึก ซึ่งการวิจัยในการศึกษาที่ 2 นี้ใช้ท่าการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด

โปรแกรมการฝึกนี้ใช้สำหรับกลุ่มทดลองที่ 1 โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศด้วยท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half squat) โดยใช้น้ำหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของหนึ่งอาร์เอ็ม จากนั้นตามด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง โดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกตัวจากท่า 3 point start แล้ววิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด (Speed bounding) บนพื้นลาดเอียงจากมุมที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาที่ 1 เป็นระยะทาง 10 เมตรโดยวิ่งให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

รายละเอียดโปรแกรมการฝึก	กลุ่มทดลองที่ 1
ขั้นที่ 1: การฝึกด้วยแรงต้าน	
1. ความหนักของการฝึก (Intensity)	85 % ของ 1RM
2. ปริมาณของการฝึก (Volume) 2.1 จำนวนครั้งในการยกต่อชุดของการฝึก	3 ครั้ง
3. จังหวะในการยกน้ำหนัก	เร็วที่สุด
4. ระยะเวลาการพัก (Recovery) 4.1 ระยะเวลาพักระหว่างขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2	30 วินาที
ขั้นที่ 2 : การฝึกด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด	
5. ความหนัก	วิ่งด้วยความพยายามสูงสุดให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้บนพื้นลาดเอียง
6. ระยะทาง	10 เมตร
7. มุมของพื้น	9 องศา
สรุปโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อน	
8. ระยะเวลาการพัก (Recovery) 8.1 ระยะเวลาการพักระหว่างชุด	3-5 นาที
9. จำนวนชุดของโปรแกรมการฝึก	4 ชุด
10. ความถี่ของโปรแกรมการฝึก	2 ครั้งต่อสัปดาห์
11. ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึก	6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 22 แสดงการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศ ของกลุ่มทดลองที่ 1 เป็นขั้นตอนที่หนึ่งของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้ระดับความหนักในการฝึก 85 % ของ 1 RM

ภาพที่ 23 แสดงการฝึกในขั้นตอนที่ 2 ของการฝึกเชิงซ้อนของกลุ่มทดลองที่ 1 โดยใช้รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยท่าวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นลาดเอียง

ภาคผนวก ฎ

โปรแกรมการฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้าน กับการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ

โปรแกรมการฝึกนี้ใช้สำหนับกลุ่มทดลองที่ 2 โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกเชิงซ้อนแบบผสมผสานการฝึกด้วยแรงต้านที่ใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศด้วยท่าฮาล์ฟสคอว์ท (Half squat) โดยใช้น้ำหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของหนึ่งอาร์เอ็ม จากนั้นตามด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ โดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกตัวจากท่า 3 point start แล้ววิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด (Speed bounding) บนพื้นราบเป็นระยะทาง 10 เมตรโดยวิ่งให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

รายละเอียดโปรแกรมการฝึก	กลุ่มทดลองที่ 2
ขั้นที่ 1: การฝึกด้วยแรงต้าน	
1. ความหนักของการฝึก (Intensity)	85 % ของ 1RM
2. ปริมาณของการฝึก (Volume) 2.1 จำนวนครั้งในการยกต่อชุดของการฝึก	3 ครั้ง
3. จังหวะในการยกน้ำหนัก	เร็วที่สุด
4. ระยะเวลาการพัก (Recovery) 4.1 ระยะเวลาพักระหว่างขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2	30 วินาที
ขั้นที่ 2 : การฝึกด้วยการวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดด	
5. ความหนัก	วิ่งด้วยความพยายามสูงสุดให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้บนพื้นราบ
6. ระยะทาง	10 เมตร
7. มุมของพื้น	0 องศา
สรุปโปรแกรมการฝึกเชิงซ้อน	
8. ระยะเวลาการพัก (Recovery) 8.1 ระยะเวลาการพักระหว่างชุด	3-5 นาที
9. จำนวนชุดของโปรแกรมการฝึก	4 ชุด
10. ความถี่ของโปรแกรมการฝึก	2 ครั้งต่อสัปดาห์
11. ระยะเวลาของโปรแกรมการฝึก	6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 24 แสดงการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้เครื่องฝึกแรงดันอากาศ ของกลุ่มทดลองที่ 2 เป็นขั้นตอนที่หนึ่งของการฝึกเชิงซ้อนโดยใช้ระดับความหนักในการฝึก 85 % ของ 1 RM

ภาพที่ 25 แสดงการฝึกในขั้นตอนที่ 2 ของการฝึกเชิงซ้อนของกลุ่มทดลองที่ 2 โดยใช้รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกด้วยท่าวิ่งเร็วแบบก้าวกระโดดบนพื้นราบ

ภาคผนวก ฏ
ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

AF 02-12

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Group I, Chulalongkorn University
Jamjuree 1 Building, 2nd Floor, Phyathai Rd., Patumwan district, Bangkok 10330, Thailand,
Tel: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 197/2019

Certificate of Approval

Study Title No. 155.1/59 (2) : THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TRAINING MODEL TO ENHANCE ACCELERATION ABILITY IN SPRINTERS AGED 14 -16 YEARS

Principal Investigator : ACTING SUB LT. CHANAWAT SANPASITT

Place of Proposed Study/Institution : Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University, Thailand, has approved constituted in accordance with Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, Standards of Research Ethics Committee (SREC) 2013, and National Policy and guidelines for Human Research 2015.

Signature: Prida Tasanapradit (Associate Prof. Prida Tasanapradit, M.D.) Chairman

Signature: Nuntaree Chaichanawongsaroj (Assistant Prof. Nuntaree Chaichanawongsaroj, Ph.D.) Secretary

Date of Approval : 2 August 2019 Approval Expire date : 1 August 2020

The approval documents including;

1) Research proposal
2) Participant Information Sheet and Consent Form
3) Researcher
4) Questionnaire

Protocol No. 155.1/59
Date of Approval - 2 AUG 2019
Approval Expire Date - 1 AUG 2020

The approved investigator must comply with the following conditions:

1. *The research/project activities must end on the approval expired date of the Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University (RECCU). In case the research/project is unable to complete within that date, the project extension can be applied one month prior to the RECCU approval expired date.*
2. *Strictly conduct the research/project activities as written in the proposal.*
3. *Using only the documents that bearing the RECCU's seal of approval with the subjects/volunteers (including subject information sheet, consent form, invitation letter for project/research participation (if available).*
4. *Report to the RECCU for any serious adverse events within 5 working days*
5. *Report to the RECCU for any change of the research/project activities prior to conduct the activities.*
6. *Final report (AF 02-14) and abstract is required for a one year (or less) research/project and report within 30 days after the completion of the research/project. For thesis, abstract is required and report within 30 days after the completion of the research/project.*
7. *Annual progress report is needed for a two- year (or more) research/project and submit the progress report before the expire date of certificate. After the completion of the research/project processes as No. 6.*

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ว่าที่ ร้อยตรี ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์
วัน เดือน ปี เกิด	5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย ปีการศึกษา 2544
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาสรีรวิทยาการกีฬา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551
	เข้าศึกษาต่อปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557
ที่อยู่ปัจจุบัน	123/1 หมู่ 6 ตำบล สันกำแพง อำเภอ สันกำแพง จังหวัด เชียงใหม่ 50130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University